



TUGAS AKHIR - TL141584

**STUDI SIFAT MEKANIK *BIOBASED* POLIMER
VINIL ESTER DENGAN MATERIAL PENGISI
BAHAN ALAM TERBARUKAN**

EVIANTO RIZKY KURNIAWAN
NRP 2713 100 127

Dosen Pembimbing
Dr.Eng Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.
Haniffudin Nurdiasah, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL141584

A STUDY ON MECHANICAL PROPERTIES OF BIOBASED POLYMER VINYLESTER USING RENEWABLE NATURAL SOURCE AS A FILLER

EVIAN TO RIZKY KURNIAWAN
NRP 2713 100 127

Advisors

Dr.Eng Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.

Haniffudin Nurdiasah, S.T., M.T.

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**STUDI SIFAT MEKANIK *BIOBASED* POLIMER
VINIL ESTER DENGAN MATERIAL PENGISI
BAHAN ALAM TERBARUKAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Material Inovatif

Program Studi S-1 Departemen Teknik Material

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

EVIANTO RIZKY KURNIAWAN

NRP. 2713 100 127

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Eng Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.(Pembimbing I)

2. Haniffudin Nurdiasah, S.T., M.T.

.....(Pembimbing II)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STUDI SIFAT MEKANIK *BIOBASED* POLIMER VINIL ESTER DENGAN MATERIAL PENGISI BAHAN ALAM TERBARUKAN

Nama Mahasiswa : Evianto Rizky Kurniawan
NRP : 2713 100 127
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Dr.Eng Hosta Ardhyananta, S.T.,M.Sc.
Haniffudin Nurdiasah, S.T.,M.T.

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan material polimer yang ramah lingkungan dan memiliki sifat mekanik, biodegradabilitas, dan stabilitas termal yang baik. Produk polimer ini menggunakan bahan dasar vinilester dengan variasi pengisi pati gandum, pati kentang, pati ketan, minyak jarak, minyak sawit, dan serbuk limbah ban. Pengujian yang dilakukan yaitu uji morfologi (SEM), uji massa jenis, uji FTIR, uji kekerasan shore D, uji kekuatan tarik, uji TGA, dan biodegradasi. Pengujian sifat kekerasan menunjukkan peningkatan nilai kekerasan dengan variasi pengisi pati gandum, pati kentang, dan pati ketan dengan tertinggi pada variasi pati ketan sebesar 71,78 HRR. Pengujian kekuatan tarik menunjukkan peningkatan kekuatan tarik dengan variasi pengisi minyak jarak dengan kekuatan tarik sebesar 38,54 MPa. Pengujian stabilitas temperatur menunjukkan peningkatan dengan variasi pengisi pati gandum, pati kentang, minyak jarak, minyak sawit dan serbuk limbah ban. Stabilitas temperatur tertinggi terdapat pada variasi pengisi pati kentang dengan T_5 403 °C. Kemampuan degradasi meningkat dengan variasi pengisi pati gandum, pati kentang, pati ketan, minyak jarak, dan minyak sawit dengan presentase degradasi tertinggi pada variasi pengisi pati kentang sebesar 0.96% dalam 6 minggu. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, biobased vinil ester dapat digunakan sebagai kandidat

pengganti polimer vinil ester dengan nilai tambah mampu terdegradasi secara alami didalam tanah.

Kata kunci : Biodegradasi, pengisi biobased, sifat mekanik, vinil ester.

A STUDY ON MECHANICAL PROPERTIES OF BIOBASED VINYLESTER POLYMER USING RENEWABLE NATURAL SOURCE AS A FILLER

Name : Evianto Rizky Kurniawan
NRP : 2713 100 127
Department : Materials and Metallurgical Engineering
Advisors : Dr.Eng Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc.
HaniffudinNurdiasah, S.T., M.T.

ABSTRACT

This research was done to develop eco friendly polymer material which have a good mechanical properties, biodegradability, and thermal stability. This product using vinylester as a base with weath, potato starch, rice starch, castrol oil, oil palm, and waste rubber tire as a filler variation. Tests performed in this study were included SEM, density, FTIR, hardness shore D, Tensile, TGA, and biodegradable. Hardness test shows that hardness value increase with addition of potato starch, rice starch, and weath starch as a filler variation. The highest hardness value was obtained on rice starch, that was 71.78 HRR. Tensile test shows that the highest tensile properties was obtained on biobased polimer with castor oil as a filler, that was 38.54 MPa. Thermogravimetric analysis shows that the thermal stability are increase with the addition of weath starch, potato starch, castor oil, palm oil, and waste rubber tire as a filler. The highest thermal stability was obtained on biobased polymer with potato starch as a filler, T_5 value was 403 °C. Degradability increase with the addition of weath starch, potato starch, rice starch, castor oil, palm oil, and waste rubber tire as a filler, the highest degradation percentage obtained on biobased polymer with potato starch as a filler, that was 0.96% in six weeks. Based on the testing and analysis, biobased polymer vinylester can be a replacement candidate of material polymer

vinylester with added value capable to degradation naturally in the soil burial.

Keywords : *Biobased filler, biodegradation, mechanical properties, vinylester.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat, taufiq, hidayah dan inayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Studi Sifat Mekanik *Biobased* Polimer Vinil Ester dengan Pengisi Bahan Alam Terbarukan”**. Adapun laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.

Penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karuniaNya dari awal memulai perkuliahan di ITS hingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir.
2. Kedua orang tua dan keluarga atas semua doa, dukungan moril dan materiil, pengertian dan cinta yang telah diberikan selama ini
3. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T, M.Sc selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bekal yang sangat bermanfaat.
4. Bapak Haniffudin Nurdiansah ST., MT. selaku dosen *co-embimbing* yang senantiasa memberikan bimbingan dan arahan
5. Bapak Budi Agung Kurniawan, ST, MSc selaku dosen wali yang senantiasa menyemangati
6. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng. selaku Ketua Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
7. Dosen Tim Penguji Seminar dan Sidang Tugas Akhir.
8. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
9. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi atas penulisan tugas akhir ini.
10. Keluarga HMMT dan MT15 yang selalu membantu selama masa perkuliahan.

11. Yunus dan Dida selaku teman seperjuangan selama Tugas Akhir
12. Adit, Prosca, Gema, Dimasqi, Afza selaku teman seperjuangan di Laboratorium Inovatif.
13. Keluarga SC/PSDM 2014/2015 atas semua pembelajaran tentang perjuangan yang diberikan
14. Keluarga SC/PSDM 2015/2016 atas semua Kerjasamanya

Penulis berharap laporan tugas akhir ini mampu membantu pengembangan *biobased* polimer dengan memanfaatkan bahan alam di Indonesia. Penyusun menyadari adanya keterbatasan di dalam penyusunan laporan ini. Besar harapan penyusun akan saran, dan kritik yang sifatnya membangun. Penulis berharap tugas akhir ini bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Polimer	5
2.2 Vinilester	7
2.3 Pati	8
2.4 Minyak Nabati	10
2.5 Minyak Jarak	11
2.6 Minyak Sawit	13
2.7 Serbuk Ban	14
2.8 Penelitian Terdahulu.....	16

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian.....	27
3.2 Bahan Penelitian	28
3.3 Peralatan Penelitian	32
3.4 Variabel Penelitian	33
3.5 Prosedur Penelitian.....	33
3.6 Pengujian	34
3.7 Rancangan Penelitian	42

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Pengisi <i>Biobased</i> Material terhadap Struktur Ikatan Vinil Ester dengan Analisa FTIR	45
4.2 Pengaruh Pengisi <i>Biobased</i> Material terhadap Sifat Kekerasan Vinil Ester.....	47
4.3 Pengaruh <i>Biobased</i> Material terhadap Sifat Kekuatan Tarik Maksimum Terhadap Vinil Ester.....	49
4.4 Pengaruh <i>Biobased</i> Material terhadap Kesetabilan Termal Vinil Ester.	52
4.5 Pengaruh <i>Biobased</i> Material terhadap Biodegradasi Vinil Ester.....	55
4.6 Pengaruh Pengisi <i>Biobased</i> Material terhadap Massa Jenis Vinil Ester.....	57
4.7 Analisa Morfologi <i>Biobased</i> Polimer Vinil Ester.....	58

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	63
5.2 Saran	64

DAFTAR PUSTAKA	xix
BIODATA PENULIS	xxv
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Kimia Resin Vinil ester	7
Gambar 2.2	Struktur Kimia Amilosa dan Amilopektin	9
Gambar 2.3	Struktur Molekul Trigliserida	10
Gambar 2.4	Struktur Kimia Asam Risinoleat	12
Gambar 2.5	Struktur Kimia dari Vinil Ester resin	17
Gambar 2.6	Serat Sutra Dupion Mentah	17
Gambar 2.7	Kurva Beban Tarik Maksimum terhadap Presentase Pati Kentang	19
Gambar 2.8	Kurva Kekuatan Tarik Maksimum terhadap Presentase Pati Kentang	19
Gambar 2.9	Kurva Nilai Kekerasan terhadap Presentase Pati Kentang	20
Gambar 2.10	Mikrograf SEM dari Biokomposit Vinil Ester Pati Kentang berpenguat Serat Sutra Dupion dengan Perbesaran 1000x	21
Gambar 2.11	Grafik Kekuatan Tarik Maksimum terhadap Presentase <i>acrylated epoxidized</i> Minyak Kelapa Sawit	22
Gambar 2.12	Spektrum FT-IR (a) Minyak Sawit (b) Minyak Sawit <i>Pentaerythritol Alcoholysis Product</i> (COPER) (c) Minyak Sawit <i>Pentaerythritol Glyceride Maleates</i> (COPERMA)	24
Gambar 2.13	Kurva <i>Thermogravimetric Analysis</i> dari Neat UPR dan UPR/COPERMA	25
Gambar 2.14	Grafik Batang Kekuatan Tarik terhadap Presentase COPERMA	26
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	28
Gambar 3.2	Resin Vinil Ester tipe Ripoxy R-802.....	28
Gambar 3.3	Katalis MEKPO	29
Gambar 3.4	Akselerator Cobalt Naphtalate	29
Gambar 3.5	Pati Gandum	30
Gambar 3.6	Pati Kentang	30
Gambar 3.7	Pati Ketan Putih	31

Gambar 3.8	Minyak Jarak	31
Gambar 3.9	Minyak Sawit	32
Gambar 3.10	Serbuk Limbah Ban	32
Gambar 3.11	Instrumen <i>Thermogravimetric Analysis</i> (TGA) ..	35
Gambar 3.12	Alat Durometer Shore D	36
Gambar 3.13	Dimensi Spesimen Uji Tarik	37
Gambar 3.14	Kurva Tegangan Regangan	38
Gambar 3.15	Skema alat spektroskopi FTIR	39
Gambar 3.16	Diagram skematik cara kerja SEM	41
Gambar 3.17	Proses pelapisan sampel menggunakan <i>autofine-coater</i> JFC-1100	42
Gambar 4.1	Spektrum FTIR biobased Polimer Vinil Ester	46
Gambar 4.2	Dimensi Spesimen Pengujian Kekerasan <i>Biobased</i> Vinil Ester	48
Gambar 4.3	Grafik Batang Kekerasan Material <i>Biobased</i> Vinil Ester	49
Gambar 4.4	Dimensi Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik Variasi Komposisi <i>Biobased</i> Vinil Ester	50
Gambar 4.5	Grafik Batang Nilai Kekuatan Tarik <i>Biobased</i> Vinil Ester	51
Gambar 4.6	Kurva <i>Thermogravimetric Analysis</i> (TGA) dari Variasi Komposisi <i>Biobased</i> Vinil Ester	53
Gambar 4.7	Kurva <i>Derivative Thermogravimetric</i> (DTG) dari Variasi Komposisi <i>Biobased</i> Vinil Ester	54
Gambar 4.8	Massa Jenis Variasi Komposisi <i>Biobased</i> Vinil Ester	58
Gambar 4.9	Mikrograf SEM <i>Biobased</i> Vinil Ester perbesaran 5000x (a) vinil ester murni (b) vinil ester/pati gandum (c) vinil ester/pati kentang (d) vinil ester/pati ketan	59
Gambar 4.10	Mikrograf SEM <i>Biobased</i> Vinil Ester perbesaran 5000x (a) vinil ester/minyak jarak (b) vinil ester/minyak sawit (c) vinil ester/serbuk limbah ban....	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi amilosa dan amilopektin	9
Tabel 2.2	Bahan-bahan didalam ban	15
Tabel 3.1	Kriteria Dimensi Spesimen Uji Tarik	37
Tabel 3.2	Rancangan Penelitian	43
Tabel 4.1	T ₅ dan T _{maks} dari Variasi Komposisi <i>Biobased</i> Vinil Ester	54
Tabel 4.3	Biodegradasi dari Variasi Komposisi <i>Biobased</i> Vinil Ester	56

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Riset kementerian perindustrian republik Indonesia pada awal tahun 2013 mendapatkan data konsumsi plastik hingga 1,55 juta ton pada akhir 2012. Sementara pada kutipan *The Wall Street Journal* per Februari 2016 menyatakan bahwa Indonesia merupakan negara terbesar kedua penyumbang sampah plastik di perairan samudera. Kemudian dalam riset yang dilakukan LIPI, konsumsi plastik di Indonesia per kapita sudah mencapai 17 kilogram per tahun dengan pertumbuhan konsumsi mencapai 6% - 7% pertahun, (LIPI 2016).

Penggunaan bahan plastik yang berlebihan tersebut dapat mengganggu kesehatan dan kelestarian alam. Untuk menguraikan plastik tersebut membutuhkan waktu kurang lebih hingga ratusan tahun. Penguraian plastik juga menjadi lebih sulit diakibatkan penambahan berbagai zat kimia seperti *plastisizer* (pelentur), antioksidan, *stabilizer*, ataupun zat aditif lainnya.

Salah satu inovasi teknologi untuk mengatasi permasalahan diatas adalah pengembangan produk polimer berbasis sumber daya alam terbarukan atau dapat disebut *biobased* polimer. Dalam beberapa penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya, yaitu pemanfaatan minyak sawit sebagai *plastisizer* alami untuk menambah sifat kelenturan polimer.

Sebagai usaha inovasi teknologi, maka dilakukan pengembangan material polimer yang ramah lingkungan. Dalam penelitian ini digunakan resin vinil ester sebagai bahan dasar yang akan dikombinasikan dengan sumber daya alam terbarukan yang bersumber dari tumbuhan. Vinil ester (VE) merupakan polimer yang mengandung unit aromatik yang kaku dan memiliki perpaduan sifat antara poliester dan epoksi dengan keunggulan memiliki kekuatan yang tinggi dan mampu dibentuk dalam temperatur kamar. Bahan pengisi yang akan digunakan, yaitu pati



gandum, pati kentang, pati ketan, minyak jarak, minyak sawit, dan serbuk limbah ban.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisa terhadap sifat kekuatan tarik maksimum, kekerasan, kestabilan temperatur, dan biodegradabilitas dari kombinasi tersebut dengan berbagai pengujian. Kemudian akan dilakukan komparasi hasil analisa terhadap masing-masing produk *biobased* polimer tersebut.

1.2 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka rumusan masalahnya adalah berikut :

1. Bagaimanakah pengaruh pengisi *biobased* (Pati Gandum, Pati Kentang, Pati Ketan, Minyak Jarak, Minyak Sawit, Serbuk Limbah Ban) terhadap sifat mekanik kekerasan dan kekuatan tarik maksimum *Biobased* Polimer Vinil ester /MEKPO /Cobalt Naphtalate /*Biobased* ?
2. Bagaimanakah pengaruh pengisi *biobased* (Pati Gandum, Pati Kentang, Pati Ketan, Minyak Jarak, Minyak Sawit, Serbuk Limbah Ban) terhadap sifat stabilitas temperatur *Biobased* Polimer Vinil ester / MEKPO / Cobalt Naphtalate /*Biobased* ?
3. Bagaimanakah pengaruh pengisi *biobased* (Pati Gandum, Pati Kentang, Pati Ketan, Minyak Jarak, Minyak Sawit, Serbuk Limbah Ban) terhadap degradabilitas *Biobased* Polimer Vinil ester/MEKPO/CobaltNaphtalate/*Biobased* ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sifat mekanik, degradabilitas, dan stabilitas temperature dari *biobased* polimer vinil ester dengan pengisi pati gandum, pati kentang, pati ketan, minyak jarak, minyak sawit, dan limbah karet ban.



1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis pengaruh pengisi *biobased* (Pati Gandum, Pati Kentang, Pati Ketan, Minyak Jarak, Minyak Sawit, Serbuk Limbah Ban) terhadap sifat mekanik kekerasan dan kekuatan tarik maksimum *Biobased* Polimer Vinil ester /MEKPO /Cobalt Naphtalate /*Biobased*.
2. Menganalisis pengaruh pengisi *biobased* (Pati Gandum, Pati Kentang, Pati Ketan, Minyak Jarak, Minyak Sawit, Serbuk Limbah Ban) terhadap sifat stabilitas temperatur *Biobased* Polimer Vinil ester /MEKPO /Cobalt Naphtalate /*Biobased*.
3. Menganalisis pengaruh pengisi *biobased* (Pati Gandum, Pati Kentang, Pati Ketan, Minyak Jarak, Minyak Sawit, Serbuk Limbah Ban) terhadap degradabilitas *Biobased* Polimer Vinil ester/MEKPO/CobaltNaphtalate/*Biobased*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Peneliti dapat mengetahui sifat mekanik, degradabilitas dan kestabilan temperatur dari *biobased* komposit berbahan dasar vinil ester dan pengisi bahan alam terbarukan.
2. Sebagai langkah kontribusi untuk dapat mengurangi penggunaan plastik berbahan dasar minyak bumi dan pencemaran lingkungan
3. Sebagai langkah kontribusi untuk pengembangan *biobased* polimer.
4. Keperluan studi mahasiswa.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Polimer

Polimer pertama kali digunakan oleh kimiawan Swedia Berzelius pada tahun 1833. Sepanjang abad 19 para ilmuwan bekerja dengan makromolekul tanpa memiliki suatu pengertian yang jelas mengenai strukturnya. Sebenarnya, beberapa polimer alam yang termodifikasi telah dikomersialkan. Polimer berasal dari bahasa Yunani yaitu *poly* yang berarti banyak dan *mer* yang berarti bagian atau satuan. Ciri utama polimer yakni mempunyai rantai yang sangat panjang dan memiliki massa molekul yang besar (Stevens, 2001).

Polimer merupakan rangkaian molekul panjang yang tersusun dari pengulangan kesatuan molekul yang kecil dan sederhana. Molekul kecil dan sederhana penyusun polimer disebut dengan monomer. Polimer dengan massa molekul yang besar disebut dengan polimer tinggi. Polimer tinggi terdapat di alam seperti pati, selulosa, protein, dan kitosan serta yang dapat disintesis di laboratorium misalnya : poli vinil klorida, poli vinil alkohol, poli asam laktat, poli metil metakrilat, poli etilena. Plastik merupakan salah satu contoh polimer tinggi karena memiliki massa molekul yang besar yaitu diatas 10.000 (Oktaviana, 2002).

Berdasarkan sumbernya, polimer dapat dibagi menjadi polimer alam dan polimer sintetik. Polimer alam adalah polimer yang terjadi melalui proses alami. Polimer alam terdapat dua jenis, yaitu polimer alam anorganik seperti tanah liat, pasir, sol-gel, silika, dan siloksan. Jenis lainnya yaitu polimer alam organik seperti karet alam dan selulosa yang berasal dari tumbuhan, wol dan sutera yang berasal dari hewan, serta asbes yang berasal dari mineral. Kemudian, polimer sintetik adalah polimer yang dibuat melalui reaksi kimia seperti karet fiber, nilon, poli ester, poli sterena, poli etilen.



Berdasarkan struktur rantainya, polimer dapat dibagi menjadi tiga jenis struktur, yaitu polimer rantai lurus, polimer bercabang, dan polimer jaringan. Polimer rantai lurus dapat ditemukan jika pengulangan kesatuan berulang itu lurus (seperti rantai) maka molekul-molekul polimer seringkali digambarkan sebagai molekul rantai atau rantai polimer. Kemudian polimer bercabang, yaitu polimer dengan beberapa rantai lurus atau bercabang dapat bergabung melalui sambungan silang membentuk polimer bersambung silang. Kemudian polimer jaringan yang ditemukan jika sambungan silang terjadi beberapa arah, maka terbentuk polimer sambung-silang tiga dimensi yang sering disebut polimer jaringan.

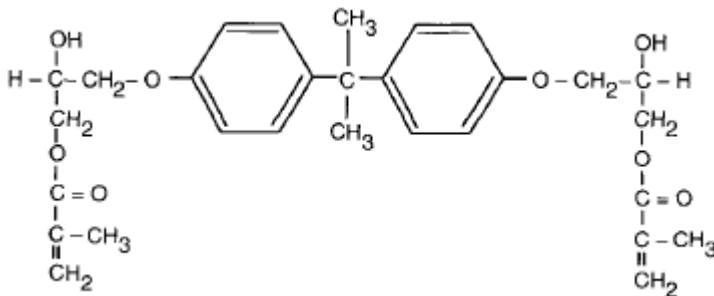
Berdasarkan sifat termal polimer dibagi menjadi dua jenis, yaitu polimer termoplastik dan polimer termoset. Polimer termoplastik mempunyai sifat fleksibel, dapat melunak bila dipanaskan dan kaku (mengeras) bila didinginkan. Contoh : poli etilen (PE), poli propilen (PP), poli vinil klorida (PVC), nilon, dan poli ester. Kemudian polimer termoset merupakan polimer yang mempunyai berat molekul yang tinggi, tidak melunak, dan sukar larut. Contoh : poli metan sebagai bahan pengemas dan melamin formaldehida (formika).

Berdasarkan komposisinya polimer terdiri dari dua jenis, yaitu homopolimer dan heteropolimer (kopolimer). Homopolimer merupakan polimer yang disusun oleh satu jenis monomer dan merupakan polimer yang paling sederhana. Kemudian heteropolimer atau kopolimer merupakan polimer yang terbuat dari dua atau lebih monomer. Kopolimer ini terdapat tiga jenis, yaitu kopolimer acak, yaitu sejumlah kesatuan berulang yang berbeda tersusun secara acak rantai polimer. Kemudian kopolimer berselang-seling, yaitu beberapa kesatuan berulang yang berbeda berselang-seling dalam rantai polimer. Dan kopolimer cangkuk / graf / temple, yaitu kelompok satu macam kesatuan berulang tercangkuk pada ruas polimer yang mengandung hanya satu macam kesatuan berulang (Charles dan E.Carraher Jr, 2003)



2.2 Vinil ester

Vinil ester merupakan anggota terbaru dalam kelas polimer termoset. Meskipun beberapa jenis resin serupa telah disintesis dalam jumlah yang kecil sebelum akhir tahun 1950-an hingga pada akhirnya pada pertengahan 1960-an mulai dipasarkan oleh *Shell and Dow Chemical* dan menjadi bagian penting dalam dunia industri saat ini. Vinil ester termasuk dalam resin tidak jenuh yang terbuat dari reaksi asam karbositik tak jenuh dengan epoksi seperti resin epoksi bisfenol. (S.T. Peters, 1998)



Gambar 2.1 Struktur kimia resin vinil ester (S.T. Peters, 1998)

Resin vinil ester memiliki massa jenis 1.05 g/cm³ dengan menjadi sangat penting pada pengikat serat pada komposit. Vinil ester memiliki kombinasi sifat mekanik, ketahanan reaksi dan kelarutan yang sangat baik paduan dari sifat resin epoksi dan poli ester tak jenuh. Kemudian vinil ester menunjukkan rangkaian yang tak jenuh sehingga membuatnya sangat bersifat reaktif seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.

Kemudian vinil ester ini dapat larut dalam *styrene* dan membeku seperti pada poli ester tak jenuh untuk memberikan kekuatan dengan cepat. Kemudian, struktur vinil ester dapat dengan mudah terpolimerisasi secara homogen yang dapat mengakibatkan produk dengan distorsi panas yang tinggi. Dan juga vinil ester ini memiliki beberapa sambungan ester per berat



molekul yang dikombinasikan dengan rantai utama epoksi tahan asam, memberikan ketahanan yang sangat baik terhadap reaksi kimia (asam, kaustik, dan kelarutan) pada kelas resin ini (Vigesh M dkk, 2014)

2.3 Pati

Pati merupakan karbohidrat yang terdiri atas amilosa dan amilopektin. Amilosa adalah bagian polimer rantai lurus dengan ikatan α -(1,4) unit glukosa yang memiliki derajat polimerisasi setiap molekulnya yaitu 102-104 unit glukosa. Sedangkan amilopektin merupakan polimer α -(1,4) unit glukosa yang memiliki percabangan α -(1,6) unit glukosa dengan derajat polimerisasi yang lebih besar yaitu 104-105 unit glukosa. Bagian percabangan amilopektin terdiri dari α -D-glukosa dengan derajat polimerisasi sekitar 20-25 unit glukosa (Kusnandar, 2011). Tabel 2.1 memberikan informasi mengenai properti atau sifat-sifat dari struktur amilosa dan amilopektin.

Jumlah pati yang dihasilkan dengan beberapa perbandingan molekul amilosa dan amilopektin tergantung dari sumber tanaman asal, seperti tapioka yang hanya mengandung amilosa sebesar 17% dan sisanya adalah amilopektin yaitu sebesar 83%, sedangkan pada jagung jumlah amilosa bisa mencapai 25% sampai 80% dan sisanya amilopektin (Smith, 1982).

Menurut Winarno (1992) amilosa merupakan fraksi pati yang terlarut. Molekul amilosa yang memiliki sifat hidrofilik dengan afinitas air yang tinggi menyebabkan amilosa pati semakin paralel dengan ikatan hidrogen. Apabila afinitas tersebut menurun maka ukuran pati akan membesar sehingga pada konsentrasi rendah akan terjadi presipitasi dan pada konsentrasi tinggi akan terbentuk gel.

Amilopektin merupakan fraksi pati yang tidak larut. Berbeda dengan amilosa dengan struktur yang lurus, struktur amilopektin yang bercabang cenderung tidak sekuat dan sefleksibel amilosa (Winarno, 1992). Dalam struktur granula pati posisi amilosa dan amilopektin berada dalam suatu cincin-cincin dengan jumlah

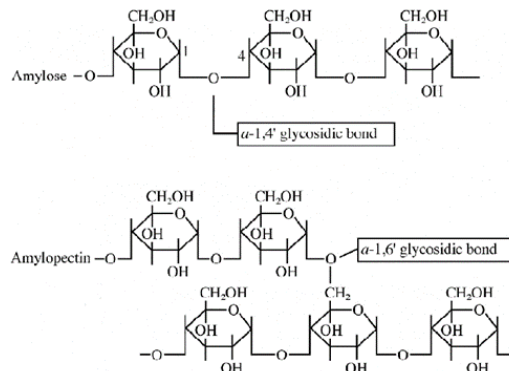


cincin sekitar 16 buah dalam suatu granula pati. Cincin-cincin dalam suatu granula pati tersebut terdiri atas lapisan-lapisan amorf dan cincin lapisan semi kristal (Hustiany, 2006). Struktur ikatan amilosa dan amilopektin dapat diamati pada Gambar 2.2.

Saat dipanaskan maka granula pati akan mengalami pengembangan dan bersifat tidak kembali ke bentuk semula yang disebut gelatinisasi. Proses gelatinisasi ini terjadi akibat hilangnya sifat polarisasi cahaya pada *hilum* yang akan tercapai pada titik temperatur tertentu. Ikatan granula yang bervariasi pada pati merupakan faktor yang menentukan besarnya temperatur untuk mencapai gelatinisasi. Kisaran temperatur gelatinisasi pada kentang 57-87°C tapioka 68-92°C, gandum 50-86°C (Swinkels, 1985).

Tabel 2.1 Properti amilosa dan amilopektin (Kusnandar, 2011).

Properti	Amilosa	Amilopektin
Struktur umum	Lurus	Bercabang
Ikatan	α -1,4	α -1,4 dan α -1,6
Panjang rantai rata-rata	$\sim 10^3$	20-25
Derajat polimerisasi	$\sim 10^3$	10^4 - 10^5
Kompleks dengan iod	Biru (~ 650 nm)	Ungu-Coklat (~ 550 nm)
Kemampuan membentuk gel dan film	Kuat	Lemah



Gambar 2.2 Struktur kimia amilosa dan amilopektin (Eliasson, 2004)

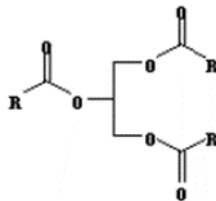


Granula pati berwarna putih, mengkilat, tidak berbau, dan tidak berasa apabila dalam keadaan murni. Granula pati memiliki bentuk dan ukuran yang bervariasi. Bentuk, ukuran, dan sifat granula pati tergantung dari sumber patinya, ada yang berbentuk bulat, oval, atau tak beraturan (Anggesta M.E.P dan Fithri C.N, 2015).

2.4 Minyak Nabati

Secara umum, pengertian minyak nabati adalah cairan yang diambil atau diekstrak dari tumbuh-tumbuhan. Komponen utama penyusun minyak nabati adalah trigliserida asam lemak, yang mencapai 95%-b. Komponen lainnya adalah asam lemak bebas (*Free Fatty Acid* atau FFA), monogliserida, digliserida, fosfolipid, vitamin, dan mineral.

Trigliserida merupakan komponen minyak nabati yang terbesar. Trigliserida terlibat secara langsung dalam reaksi pembentukan ester alkil asam lemak, yang merupakan komponen utama dari biodiesel. Gambar 2.3 menunjukkan struktur molekul trigliserida. Secara struktur molekul, trigliserida merupakan trimer dari gliserol dengan asam-asam lemak.



Gambar 2.3 Struktur molekul trigliserida (Abdul R, 2016)

Komponen lain yang juga terdapat dalam minyak nabati adalah asam lemak bebas (FFA). Definisi asam lemak secara struktur molekul adalah asam karboksilat beratom karbon 6 – 30. Asam lemak bebas adalah asam lemak yang terdapat dalam minyak nabati dan gugus karboksilatnya bebas, dalam pengertian tak



terikat dalam bentuk ester, garam, dan lain-lain. Asam lemak bebas biasa terdapat dalam minyak nabati sebagai akibat proses hidrolisis trigliserida. Kandungan FFA yang berlebihan pada minyak dapat menghambat reaksi pembentukan ester alkil karena FFA dapat bereaksi dengan katalis reaksi tersebut (Abdul R, 2016)

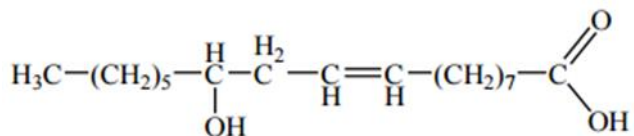
2.5 Minyak Jarak

Minyak jarak yang sering disebut sebagai minyak *ricinus* adalah cairan kental berwarna kuning pucat yang diperoleh dari biji tanaman jarak. Tanaman jarak (*Ricinus communis* Linn) termasuk dalam keluarga *Euphorbiaceae*, merupakan tanaman yang hidup di daerah tropis, dan dapat tumbuh pada ketinggian 0-800 m di atas permukaan laut. Tanaman jarak telah lama dikenal di Indonesia. Minyak jarak digunakan sebagai bahan dasar industri, pelarut, pelumas, pewarna, resin, pemlastis (*plasticizer*), furnis, tinta, adesif, laminating dan pelapis. Sebelum digunakan untuk berbagai macam keperluan, minyak jarak perlu diolah terlebih dahulu. Pengolahan ini meliputi dehidrasi, oksidasi hidrogenasi, sulfitasi, penyabunan dan sebagainya. Pengolahan itu menyebabkan perubahan sifat fisika kimia minyak jarak (Ketaren, 2008).

Minyak jarak berwarna kuning pucat, tetapi setelah dilakukan proses *refining* dan *bleaching* warna tersebut hilang sehingga menjadi hampir tidak berwarna. Minyak jarak ini dapat disimpan dan tidak mudah menjadi busuk. Kelarutannya dalam alkohol relatif tinggi, begitu juga di dalam eter, kloroform, dan asam asetat glasial. Minyak jarak tidak larut dalam minyak mineral kecuali kalau dicampur dengan minyak tumbuhan lain. Minyak jarak hampir keseluruhan berada dalam bentuk trigliserida, terutama resinolein dengan asam risinoleat sebagai komponen asam lemaknya. Kandungan tokoferol yang relatif kecil (0,05%) serta kandungan asam lemak esensial yang sangat rendah menyebabkan minyak jarak ini berbeda dengan minyak nabati lainnya (Weiss, 1983).



Asam risinoleat merupakan komposisi utama dari trigliserida minyak jarak yaitu asam lemak yang memiliki struktur seperti pada Gambar 2.4, struktur yang unik dibandingkan dengan asam lemak lemak lainnya yaitu turunan asam oleat (C18:1) yang pada posisi ω -7 memiliki gugus hidroksil serta mengandung ikatan π pada posisi ω -9. Asam risinoleat (Asam 12-hidroksi-9-oktadekanoat) memiliki 18 atom karbon dengan 1 gugus hidroksi pada atom karbon ke 12 dan ikatan rangkap Cis antara atom karbon 9 dan 10. Berat molekul asam risinoleat 298,46 gr. Adanya asam lemak risinoleat pada castor oil memiliki sifat yang khusus. Minyak jarak memiliki bilangan hidroksi dan asetil yang tinggi dan bilangan iodin yang sebanding dengan minyak lain serta viskositas dan berat jenis yang tinggi (Abdul R, 2016).



Gambar 2.4 Struktur kimia asam risinoleat (Abdul R, 2016)

Adanya gugus hidroksil ini menyebabkan asam risinoleat bersifat lebih polar dibandingkan dengan asam lemak lainnya. Minyak yang mengandung asam lemak hidroksil merupakan bahan yang sangat penting. Pada penggunaannya gugus hidroksil tidak jenuh ini sering diubah menjadi gugus fungsi reaktif lainnya. Minyak jarak bersifat sedikit beracun yang ditunjukkan oleh aktivitas pencakar yang ditimbulkannya bila dikonsumsi. Selain itu mengandung asam lemak esensialnya sangat rendah. Hal ini menyebabkan minyak jarak tidak dapat digunakan sebagai minyak makan dan bahan pangan (Ketaren, 2008).



2.6 Minyak Sawit

Crude Palm Oil (CPO) atau minyak kelapa sawit adalah minyak nabati edibel yang didapatkan dari *mesocarp* buah pohon kelapa sawit, umumnya dari spesies *Elaeis guineensis* dan sedikit dari spesies *Elaeis oleifera* dan *Attalea maripa*. Minyak sawit secara alami berwarna merah karena kandungan beta-karoten yang tinggi. Minyak sawit berbeda dengan minyak inti kelapa sawit (*palm kernel oil*) yang dihasilkan dari inti buah yang sama. Minyak kelapa sawit juga berbeda dengan minyak kelapa yang dihasilkan dari inti buah kelapa (*Cocos nucifera*). Perbedaan ada pada warna (minyak inti sawit tidak memiliki karotenoid sehingga tidak berwarna merah), dan kadar lemak jenuhnya. Minyak sawit mengandung 41% lemak jenuh, minyak inti sawit 81%, dan minyak kelapa 86%. (Harold McGee, 2004).

Minyak sawit kasar (*Crude Palm Oil*) merupakan minyak kelapa sawit mentah yang diperoleh dari hasil ekstraksi atau dari proses pengempaan daging buah kelapa sawit dan belum mengalami pemurnian. Minyak sawit biasanya digunakan untuk kebutuhan bahan pangan, industri kosmetik, industri kimia, dan industri pakan ternak. Kebutuhan minyak sawit sebesar 90% digunakan untuk bahan pangan seperti minyak goreng, margarin, *shortening*, pengganti lemak kakao dan untuk kebutuhan industri roti, cokelat, es krim, biskuit, dan makanan ringan. Kebutuhan 10% dari minyak sawit lainnya digunakan untuk industri kimia yang menghasilkan asam lemak, lemak alkohol, gliserol, dan metil ester serta surfaktan.

Asam lemak bersama-sama dengan gliserol merupakan penyusun utama minyak nabati dan hewani. Asam lemak yang terkandung di dalam CPO sebagian besar adalah asam lemak jenuh yaitu asam palmitat. Asam lemak jenuh hanya memiliki ikatan tunggal diantara atom-atom karbon penyusunnya, sedangkan asam lemak tak jenuh mempunyai paling sedikit satu ikatan rangkap diantara atom-atom karbon penyusunnya. Asam lemak jenuh bersifat lebih stabil (tidak mudah bereaksi) dari pada asam lemak



tak jenuh. Ikatan ganda pada asam lemak tak jenuh mudah bereaksi dengan oksigen (mudah teroksidasi). Keberadaan ikatan ganda pada asam lemak tak jenuh menjadikannya memiliki dua bentuk: cis yang bersifat tidak stabil dan trans yang bersifat stabil. Seperti halnya lemak dan minyak lainnya, minyak kelapa sawit terdiri atas trigliserida yang merupakan ester dari gliserol dengan tiga molekul asam lemak.

Bila $R_1 = R_2 = R_3$ atau ketiga asam lemak penyusunnya Sama maka trigliserida ini disebut trigliserida sederhana, dan apabila salah satu atau lebih asam lemak penyusunnya tidak sama maka disebut trigliserida campuran. Asam lemak merupakan rantai hidrokarbon, yang setiap atom karbonnya mengikat satu atau dua atom hidrogen, kecuali atom karbon terminal mengikat tiga atom hidrogen, sedangkan atom karbon terminal lainnya mengikat gugus karboksil. Asam lemak yang pada rantai hidrokarbonnya terdapat ikatan rangkap disebut asam lemak tidak jenuh, dan apabila tidak terdapat ikatan rangkap pada rantai hidrokarbonnya karbonnya disebut dengan asam lemak jenuh.

Semakin jenuh dalam molekul asam lemak dalam molekul trigliserida, semakin tinggi titik beku atau titik cair minyak tersebut. Sehingga pada suhu kamar biasanya berada pada fase padat. Sebaliknya semakin tidak jenuh asam lemak dalam molekul trigliserida maka makin rendah titik leleh atau titik cair minyak tersebut sehingga pada suhu kamar berada pada fase cair. Minyak kelapa sawit adalah lemak semi padat yang mempunyai komposisi yang tetap.

2.7 Serbuk Ban

Ban terdiri dari bahan karet atau polimer yang sangat kuat diperkuat dengan serat-serat sintetik dan baja yang sangat kuat yang menghasilkan suatu bahan yang mempunyai sifat-sifat unik seperti kekuatan tarik yang sangat kuat, fleksibel, ketahanan geseran yang tinggi (Bujang B.K.Huat, 2004).



Ban terdiri dari tiga komponen atau bahan-bahan seperti pada Tabel 2.2. Untuk menggiling ban menjadi serbuk karet dilakukan dengan proses ambien atau kriogenik *grinding*. Karet memberikan kontribusi terbesar bahan ban (lebih kurang 60% berat). Ban adalah material komposit, biasanya dari karet alam atau karet isoprena yang digunakan untuk ban truk dan ban mobil penumpang seperti pada sabuk tapak, *sidewall*, *carcassply*, dan *innerliner*.

Ada perbedaan jumlah karet stirena butadiena yang digunakan pada ban truk, dimana jumlah karet stirena butadiena lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan karet styrene butadiene pada *carcassply*, dasar tapak (Carl Thodesen, 2009). Sebuah ban mengandung 30 jenis karet sintesis, delapan jenis karet alam, delapan jenis karbon hitam, tali baja, poli ester, nilon, manik-manik baja, silika dan 40 jenis bahan kimia, minyak dan pigmen (Exposure Research, 2009).

Tabel 2.2 Bahan-bahan didalam ban (Exposure Research, 2009)

No	Nama Bahan	No	Nama Bahan
1	Acetone	15	Pigments
2	Nickel	16	Manganese
3	Aniline flame retardants	17	Polyester
4	Phenol	18	Chloroethane isobutyl
5	Barium	19	Methyl
6	Polycyclic aromatic Hydrocarbons	20	Cobalt trichloroethylene
7	Benzothiazole	21	Arsenic
8	Methyl ethyl ketone	22	Isoprene
9	Styrene-butadene	23	Benzene
10	Chromium toluene	24	Lead
11	Copper	25	Cadmium
12	Halogenated	26	Mercury
13	Nylon	27	Rayon
14	Latex	28	Naphthalene



Serbuk karet atau yang sering disebut dengan “*tire crumb*” atau “*crumb rubber*” adalah produk yang ramah lingkungan karena diperoleh dari ban bekas, dan tidak larut dalam tanah ataupun air tanah. Selain mengurangi jumlah limbah karet yang terbuang ke lingkungan, pemakaian kembali limbah produk karet tertentu, dapat menekan harga karet sebagai salah satu komponen penting penentu harga produk jadi yang dihasilkan. Aplikasi umum dari serbuk ban bekas adalah untuk karpet karet, karet kompon, sol sepatu karet, konstruksi bangunan, campuran aspal untuk mengurangi keretakan dan menambah daya tahan pada jalan raya / jalan tol, lapangan olah raga, arena pacuan kuda, lapangan atletik serta tempat-tempat rekreasi, seperti penutup tanah pada peralatan tempat bermain

Serbuk –serbuk ban bekas adalah suatu jaringan tiga dimensi atau suatu produk ikatan silang dari karet alam dan karet sintetis, diperkuat dengan karbon black yang menyerap minyak encer dari semen aspal selama reaksi yang dapat mengalami pengembangan (Swelling) dan pelunakan (Softening) dari serbuk ban bekas. Hal ini meningkatkan kekentalan binder yang dimodifikasi (Steven Manolis and Simon Hesp, 2001).

Serbuk ban bekas berbentuk butiran-butiran kecil dari ban bekas yang dibuat dalam ukuran tertentu yang digunakan untuk modifikasi bahan aspal paving atau sebagai pengisi . Sifat-sifat serbuk ban bekas yang dapat mempengaruhi interaksi dalam proses pembuatan yakni ukuran partikel ,spesifikasi area permukaan, dan komposisi kimia (Heitzamn, 1992).

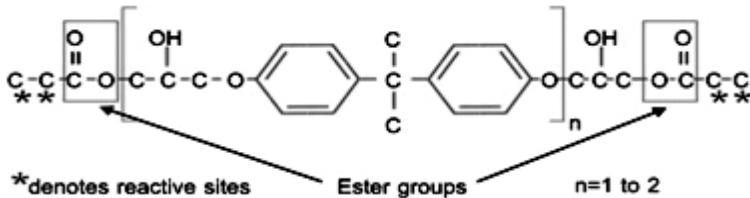
2.8 Penelitian Terdahulu

Dalam penelitian Mr.Vigesh M, Dr.H.G. Hanumantharaju, dan Mr.Avinash S tahun 2014 dilakukan pengembangan material biokomposit menggunakan serat sutra dupion sebagai penguat dan vinil ester sebagai matriks dengan pati kentang sebagai pengisi menggunakan metode *hand layup*. Biokomposit dipreparasi dengan variasi presentase pengisi 0%, 10%, 20%, dan 30% dengan



katalis metil etil keton peroksida (MEKPO) dan promotor cobalt naphtalate. Pengujian mekanik yang dilakukan yaitu kekuatan tarik, fleksural, dan kekerasan sesuai dengan standar ASTM.

Vinil ester tak-jenuh digunakan sebagai matriks, serat sutra dupion sebagai penguat, dan pati kentang sebagai material pengisi. Resin vinil ester yang digunakan memiliki massa jenis 1,05 gr/cm³ dengan struktur kimia seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Struktur kimia dari vinil ester resin (Vigesh M dkk, 2014)

Sutra dupion yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 merupakan jenis serat sutra yang terbuat dari dua ulat yang membentuk kempompong. Ketika dua ulat memintal kepompong secara berdekatan, serat kepompong akan saling menjerat dan jeratan serat ini yang digunakan untuk membuat benang sutra. Serat sutra tersebut memiliki sifat yang kuat dan lebih kasar dibandingkan serat sutra yang lain. Massa jenis dari serat sutra dupion yaitu 1,33 gr/cm³.



Gambar 2.6 Serat sutra dupion mentah (Vigesh M dkk, 2014)

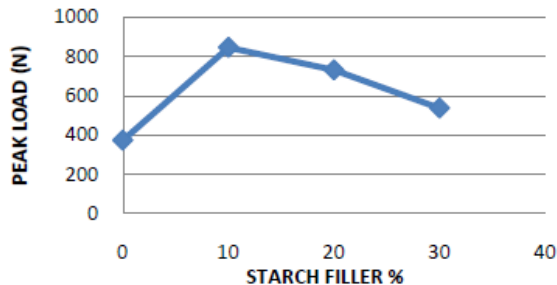


Pati merupakan karbohidrat yang tersedia didalam tumbuhan dan sumber utama sebagai penghasil energy untuk kelangsungan hidup. Pati juga telah dimanfaatkan selain dalam industri makanan, yaitu sebagai perekat untuk kertas, kayu, dan industri tekstil. Polimer *Biodegradable* berbasis pati juga telah dikembangkan yaitu pada rekayasa jaringan tulang. Pati memiliki sifat biokompatibilitas, biodegradasi, dan produk degradasi yang tidak menimbulkan limbah atau racun berbahaya untuk lingkungan. Pati yang digunakan sebagai pengisi dalam penelitian ini adalah pati kentang dengan massa jenis $1,43 \text{ gr/cm}^3$. Tabel 2.3 menunjukkan presentase komposisi dari biokomposit vinil ester berpenguat serat sutra dupion.

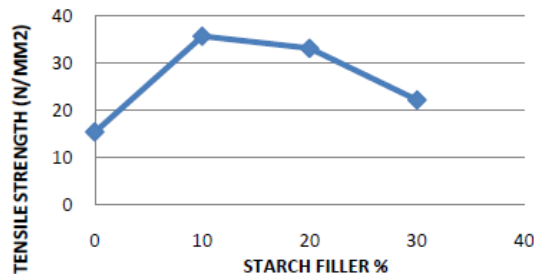
Tabel 2.3 Komposisi biokomposit (Vigesh M dkk, 2014).

Sampel	(%) Resin	(%) Penguat	(%) Pengisi
A	90	10	0
B	80	10	10
C	70	10	20
D	60	10	30

Pengujian kekuatan tarik pada sampel menggunakan standar ASTM D-638 tipe IV. Berdasarkan pengujian kekuatan tarik didapatkan hasil berupa beban tarik maksimum dan kekuatan tarik maksimum. Biokomposit dengan presentase 10% pati kentang sebagai pengisi memiliki kemampuan menerima beban tarik maksimum terbesar yaitu 845,5 N, ditunjukkan pada Gambar 2.7. Biokomposit dengan presentase 10% pati kentang sebagai pengisi memiliki kekuatan tarik maksimum tertinggi yaitu 35,71 Mpa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.

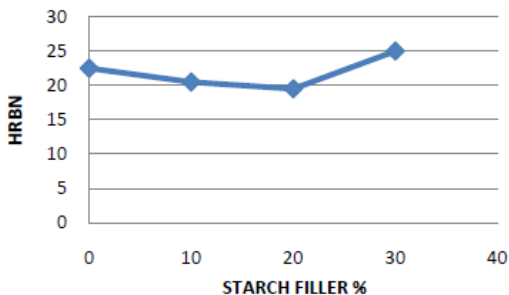


Gambar 2.7 Kurva beban tarik maksimum terhadap presentase pati kentang (Vigesh M dkk, 2014)



Gambar 2.8 Kurva kekuatan tarik maksimum terhadap presentase pati kentang (Vigesh M dkk, 2014).

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan Rockwell B *Hardness* dengan menghitung kedalaman indentasi dari material yang telah diberikan beban dari sebuah indenter yang spesifik. Gambar 2.9 menunjukkan bahwa nilai kekerasan menurun dari presentase pati kentang 10% hingga 20%, kemudian mengalami kenaikan pada presentase pati kentang 20% hingga 30%. Tabel 2.4 menunjukkan nilai kekerasan dari masing-masing sampel dengan presentase pati kentang yang berbeda-beda.

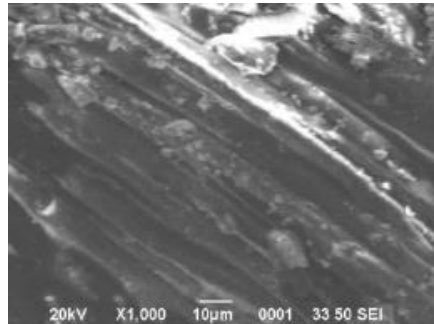


Gambar 2.9 Kurva nilai kekerasan terhadap presentase pati kentang (Vigesh M dkk, 2014).

Tabel 2.4 Nilai kekerasan biokomposit (Vigesh M dkk, 2014).

Sampel	Komposisi	Kekerasan (HRBN)
A	Vinil ester + 10% serat sutra dupion	22,5
B	Vinil ester + 10% serat sutra dupion + 10% pati kentang	20,5
C	Vinil ester + 10% serat sutra dupion + 20% pati kentang	19,5
D	Vinil ester + 10% serat sutra dupion + 30% pati kentang	25

Karakteristik morfologi dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Gambar 2.10 menunjukkan mikrograf dari biokomposit vinil ester berpenguat serat sutra dupion dan berpengisi pati kentang. Mikrograf SEM menunjukkan ikatan yang lemah antara penguat dan matriks. Granula pati kentang terlihat menempel pada serat sutra dupion yang dikarenakan keduanya memiliki kesamaan sifat hidrofilik pada alam.



Gambar 2.10 Mikrograf SEM dari biokomposit vinil ester pati kentang berpenguat serat sutra dupion dengan perbesaran 1000x (Vigesh M dkk, 2014).

Biokomposit dapat menjadi pelengkap dan bahkan pengganti komposit berbasis minyak bumi. Kekuatan tarik dari biokomposit yang diujikan menunjukkan bahwa beban tarik maksimum dan kekuatan tarik maksimum dimiliki oleh biokomposit dengan presentase 10% pati kentang. Komposisi 10% pati kentang dari biokomposit yang diteliti memiliki performa terbaik daripada kombinasi yang lainnya (Vigesh M dkk, 2014).

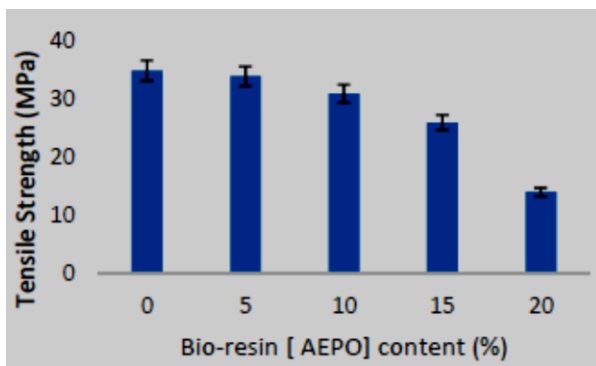
Dalam penelitian Alireza Fakhari, Abdul Razak Rahmat, Mat Uzir Wahit, S.H.N Mustapha, dan W.N Wan Tajulruddin pada tahun 2015 mengembangkan hybrid termoset vinil ester dengan *acrylated epoxidized* minyak kelapa sawit. Presentase *acrylated epoxidized* minyak kelapa sawit yang digunakan bervariasi 5%, 10%, 15%, dan 20%. Pengujian yang dilakukan untuk menganalisis sifat mekanik yaitu kekuatan tarik dan fleksural.

Epoxidized minyak sawit kelapa sawit memiliki 3 grup *oxirane* per trigleserida yang diperoleh dari *Malaysian Palm Oil Board* (MOPB). Asam akrilik yang disuplai oleh Qrec digunakan untuk mempersiapkan *acrylated epoxidized* minyak kelapa sawit. Vinil ester yang digunakan diperoleh dari Swancor dengan inisiator benzoil peroksida yang diperoleh dari Aldrich Chemical Co.



Preparasi sampel dilakukan dengan mencampurkan vinil ester, *acrylated epoxidized* minyak kelapa sawit, dan inisiator menggunakan pengaduk mekanik selama 5 menit. Campuran yang telah homogen dituangkan dalam cetakan alumunium dan dipanaskan didalam oven dengan temperatur 90°C selama 2 jam. Kemudian pada temperatur 130 °C didiamkan selama 1 jam, dan dilakukan pendinginan pada temperatur kamar selama 24 jam.

Pengujian tarik dilakukan menggunakan mesin uji tarik Instron-4301 pada temperatur kamar dengan standar ASTM D-638. Sampel pengujian tarik memiliki ketebalan 4 mm, panjang 150 mm, dan lebar 6 mm. Pengujian tarik yang telah dilakukan didapatkan hasil yang ditunjukan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Grafik kekuatan tarik maksimum terhadap presentase *acrylated epoxidized* minyak kelapa sawit (Alireza Fakhari dkk, 2015)

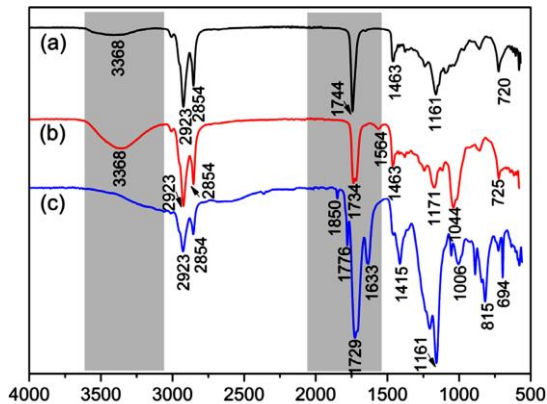
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa *acrylated epoxidized* minyak kelapa sawit memiliki pengaruh menurunkan kekakuan vinil ester namun meningkatkan ketangguhan dari vinil ester. Komposisi *acrylated epoxidized* minyak kelapa sawit 5% memiliki sifat kekakuan dan ketangguhan yang seimbang, sehingga dapat dijadikan sebagai kandidat polimer untuk matriks pada komposit dan nanokomposit.



Dalam penelitian Chengguo Liu, Jun Li, Wen Lei, Yonghong Zhou pada tahun 2014 mengembangkan *biobased unsaturated polyester resin* (UPR) dengan minyak jarak. UPR yang digunakan mengandung *styrene* 35% yang diperoleh dari Nanjing Feilong Composites Co.,Ltd Cina. Minyak jarak diperoleh dari Nanjing Chemical Reagent Co.,Ltd Cina. Benzoil peroksida digunakan sebagai inisiator dan butyl peroksi benzoate digunakan sebagai promotor yang diperoleh dari Shanghai Aladdin Chemistry Co.,Ltd Cina.

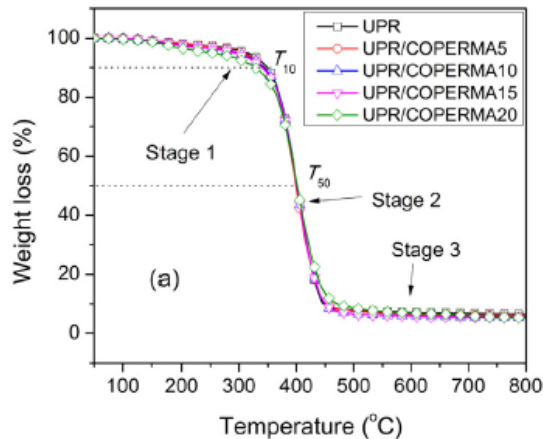
Preparasi dilakukan dengan mencampurkan UPR dan minyak jarak dengan presentase 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% menggunakan pengaduk mekanik. Campuran yang telah homogen didiamkan pada temperatur kamar selama 3 jam kemudian didalam oven 60°C selama 3 jam dan 80°C selama 1 jam.

Struktur kimia dari produk UPR/Minyak sawit dianalisa menggunakan FT-IR. Gambar 2.12 menunjukkan beberapa karakteristik puncak serapan dari minyak sawit, yaitu grup hidroksil pada cincin asam lemak pada gelombang 3368 cm^{-1} , grup metil dan metilena pada gelombang 2925 cm^{-1} dan 2854 cm^{-1} , dan grup ester karbonil pada gelombang 1744 cm^{-1} . Karakteristik puncak serapan dari Minyak Sawit *Pentaerythritol Alcoholysis Product* (COPER) menunjukkan adanya grup hidroksil pada gelombang 3368 cm^{-1} , grup metil dan metilena pada gelombang 2925 cm^{-1} dan 2854 cm^{-1} , dan grup ester karbonil pada gelombang 1734 cm^{-1} . Pada spektrum Minyak Sawit *Pentaerythritol Glyceride Maleates* (COPERMA) grup karboksil berada pada gelombang 1850 cm^{-1} dan 1776 cm^{-1} , grup ester karbonil pada gelombang 1729 cm^{-1} , dan C=C pada gelombang 1633 cm^{-1} .



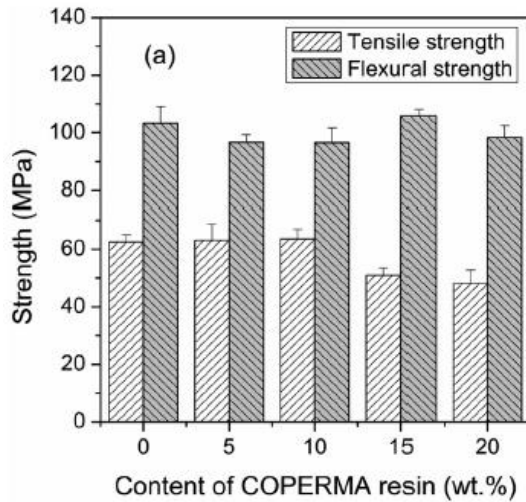
Gambar 2.12 Spektrum FT-IR (a) Minyak Sawit (b) Minyak Sawit *Pentaerythritol Alcoholysis Product* (COPER) (c) Minyak Sawit *Pentaerythritol Glycride Maleates* (COPERMA) (Chengguo Liu et al, 2014)

Gambar 2.13 menunjukkan kurva *Thermogravimetric Analysis* (TGA) dan *Derivative Thermogravimetric* (DTG) dari UPR dan UPR/COPERMA. Kurva menunjukkan bahwa biomaterial memiliki kestabilan termal dalam atmosfer N_2 dibawah $150^{\circ}C$ dan terdapat 3 tahap degradasi termal (Anjelkovic et al, 2005). Pada tahap pertama degradasi terjadi pada temperatur $150^{\circ}C$ - $230^{\circ}C$ merupakan penguapan dan dekomposisi dari senyawa minyak yang tidak bereaksi pada sampel. Tahap kedua terjadi pada temperatur $320^{\circ}C$ - $450^{\circ}C$ merupakan degradasi tercepat dan dapat disimpulkan sebagai degradasi dari struktur *crosslink* polimer. Tahap ketiga terjadi pada temperature $>450^{\circ}C$ yang merupakan degradasi akhir dari material polimer (Chengguo Liu et al, 2014).



Gambar 2.13 Kurva *Thermogravimetric Analysis* dari *Neat* UPR dan UPR/COPERMA (Chengguo Liu, 2014)

Perubahan dari kekuatan tarik dan fleksural dari *Neat* UPR dan UPR/COPERMA ditunjukkan pada Gambar 2.14. Kekuatan tarik meningkat sampai pada presentase COPERMA 10% kemudian menurun dengan bertambahnya presentase COPERMA diatas 10%. Komparasi terhadap *neat* UPR menunjukan menurunnya kekuatan tarik sebesar 18,6% dan 23,0% pada UPR/COPERMA 15% dan UPR/COPERMA 20%. Namun tidak ditemukan tren perubahan nilai kekuatan fleksural pada UPR/COPERMA dari presentase 0% hingga 20%.

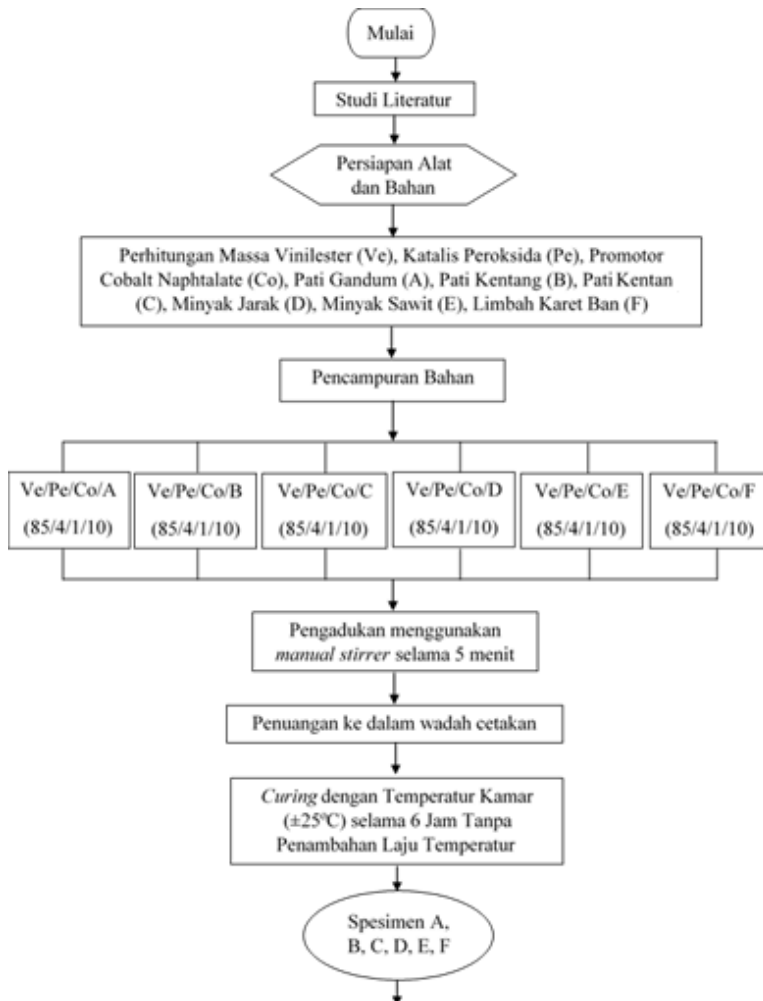


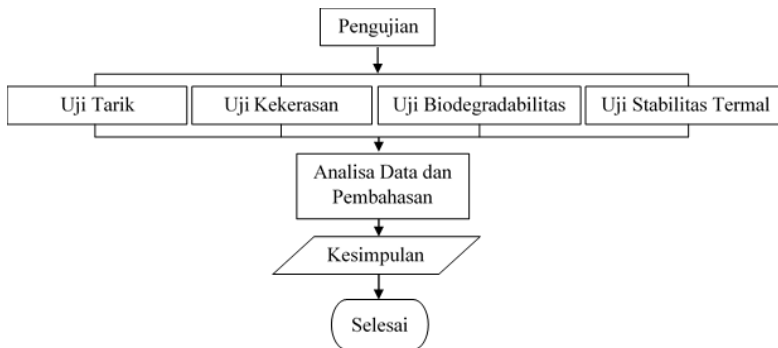
Gambar 2.14 Grafik batang kekuatan tarik terhadap presentase COPERMA (Chengguo Liu et al, 2014)

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, peneliti menyimpulkan bahwa *biobased* UPR/COPERMA masih memiliki performa yang lemah dan tidak sebanding dengan *neat* UPR. Namun dapat digunakan untuk mengembangkan pengganti parsial dari polimer berbasis minyak bumi (Chengguo Liu et al, 2014)

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian





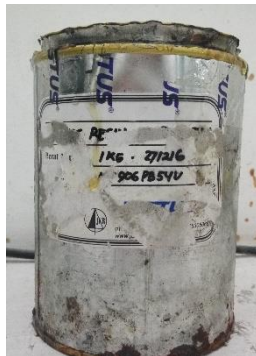
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.

3.2 Bahan Penelitian

Dalam suatu penelitian diperlukan bahan untuk menunjang keberhasilan suatu penelitian tersebut. Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar dibawah ini.

1. Resin Vinil Ester

Vinil Ester merupakan bahan utama untuk campuran biobased komposit ini, yaitu berupa cairan kental berwarna kuning. Vinil ester diperoleh dari PT. Justus Kimiaraya Surabaya dengan tipe Ripoxy R-802 seperti ditunjukan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Resin Vinil Ester tipe Ripoxy R-802.



2. Katalis MEKPO

Katalis peroksida merupakan bahan katalis untuk campuran menggunakan vinil ester yang berbentuk cairan berwarna bening. Katalis ini diperoleh dari PT. Justus Kimiaraya Surabaya dengan merk jual MEKPO seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Katalis MEKPO.

3. Akselerator Cobalt Naphtalate

Akselerator Cobalt Naphtalate merupakan bahan yang berfungsi untuk mempercepat reaksi katalis MEKPO dengan resin vinil ester yang berbentuk cairan berwarna ungu. Akselerator Cobalt Naphtalate diperoleh dari PT. Justus Kimiaraya Surabaya seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Akselerator Cobalt Naphtalate.



4. Pati Gandum

Pati gandum merupakan salah satu bahan yang digunakan sebagai pengisi matrik vinil ester yang berbentuk serbuk berwarna putih. Pati gandum yang digunakan diperoleh dari supermarket Super Indo seperti ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Pati Gandum.

5. Pati Kentang

Pati kentang merupakan salah satu bahan yang digunakan sebagai pengisi matrik vinil ester yang berbentuk serbuk berwarna putih. Pati kentang yang digunakan diperoleh dari supermarket Super Indo seperti ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Pati Kentang.



6. Pati Ketan Putih

Pati ketan putih merupakan salah satu bahan yang digunakan sebagai pengisi matrik vinil ester yang berbentuk serbuk berwarna putih. Pati ketan yang digunakan diperoleh dari supermarket Super Indo seperti ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Pati Ketan Putih

7. Minyak Jarak

Minyak jarak merupakan salah satu bahan yang digunakan sebagai pengisi matrik vinil ester yang berbentuk cairan berwarna kuning. Minyak jarak yang digunakan diperoleh dari supermarket Super Indo seperti ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Minyak Jarak.



8. Minyak Sawit

Minyak Sawit merupakan salah satu bahan yang digunakan sebagai pengisi matrik vinil ester yang berbentuk cairan berwarna kuning. Minyak sawit yang digunakan diperoleh dari supermarket Super Indo seperti ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Minyak Sawit.

9. Serbuk Limbah Karet Ban

Merupakan salah satu bahan yang digunakan sebagai pengisi matriks vinil ester yang berbentuk serbuk dan berwarna hitam seperti. Pati gandum yang digunakan diperoleh dari limbah ban bermerek Dunlop yang ditunjukkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Serbuk Limbah Ban.

3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Wadah Aluminium



- Wadah aluminium digunakan untuk proses pencampuran material.
2. Timbangan Digital
Timbangan digital pocket digunakan untuk menimbang massa bahan campuran.
 3. Sendok
Sendok digunakan untuk mengambil material untuk dicampur.
 4. Cetakan Kayu
Cetakan Kayu digunakan untuk membuat spesimen pengujian.
 5. Instrumen *Thermogravimetric Analysis* (TGA)
Digunakan untuk mengukur stabilitas termal dari komposit biobased ini.

3.4 Variabel Penelitian

Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah komposisi pengisi (Pati Gandum, Pati Kentang, Pati Tapioka, Minyak Jarak, Minyak Sawit, Limbah Karet Ban) terhadap matriks Komposit Vinil ester dengan presentase matriks vinil ester 85%, katalis 4%, akselerator 1%, dan pengisi 10%.

3.5 Prosedur Penelitian

Untuk menghasilkan hasil penelitian yang sesuai dengan harapan, maka penelitian ini memiliki beberapa tahap percobaan yang akan dilakukan hingga didapatkan hasil berupa biobased komposit :

1. Mempersiapkan semua alat dan bahan.
2. Mengukur massa campuran matriks polimer dengan perbandingan komposisi massa (Vinilester / Katalis / Akselerator / Pengisi) 85/4/1/10 dengan variasi pengisi pati gandum, pati kentang, pati tapioka, minyak jarak, minyak sawit, limbah karet ban.



3. Mencampurkan matriks vinil ester dengan variasi pengisi dan diaduk menggunakan manual stirring selama 5 menit hingga homogen pada temperatur kamar.
4. Menuangkan hasil campuran ke dalam cetakan kayu untuk dijadikan spesimen sesuai pengujian.
5. Spesimen di-curing di ruangan pada temperatur kamar 5 jam, tanpa ada pemberian laju pemanasan.
6. Melakukan pengujian mekanik, biodegradasi, dan temperature terhadap spesimen.

3.6 Pengujian

1. Pengujian *Thermogravimetric Analysis* (TGA).

Pengujian dilakukan untuk mengetahui stabilitas termal dari hasil campuran komposit biobased. Pada prinsipnya metode ini mengukur berkurangnya massa material ketika dipanaskan dari temperatur kamar hingga temperatur tinggi. Alat TGA pada Gambar 3.11 dilengkapi dengan timbangan mikro di dalamnya sehingga secara otomatis berat sampel setiap saat bisa terekam dan ditampilkan dalam bentuk grafik. Pelaksanaan pengujian ini dilakukan dengan menempatkan sampel di atas meja putar yang ada di dalam mesin. Selanjutnya dilakukan pengisian data berat awal untuk masing – masing sampel ke dalam sistem komputer di mana berat maksimal 20 mg. Kondisi dalam mesin dialiri udara kering dari tabung gas dengan kecepatan pengaliran tertentu. Program pengoperasian mesin berupa kecepatan pemanasan, jarak temperatur, dan pendinginan dilakukan dengan melalui pemasukan data ke komputer. Analisa dilakukan dengan menaikkan temperatur secara bertahap dan analisa berat terhadap temperatur, sehingga didapatkan kurva hasil pengujian berupa fungsi temperatur terhadap berat sampel.



Gambar 3.11 Instrumen *Thermogravimetric Analysis* (TGA).

2. Pengujian Kekerasan

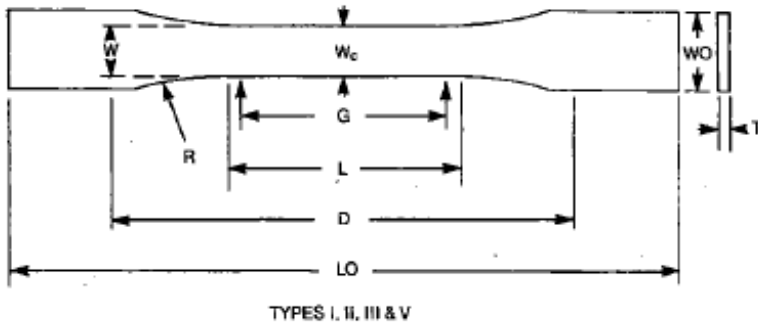
Pengujian ini digunakan untuk menganalisis tingkat kekerasan dari sampel *biobased* polimer vinil ester menggunakan alat *Durometer Shore D* seperti pada Gambar 3.12. Dimensi spesimen dan prosedur yang dilakukan menggunakan sumber acuan standar ASTM D2240 - *Durometer Hardness*. Dimana ketebalan minimal sampel yaitu 6 mm. *Durometer* ini bekerja mengukur ketahanan material terhadap penetrasi indenter seperti jarum berpegas. Skala yang digunakan pada pengujian ini adalah dalam nilai Shore D.



Gambar 3.12 Alat Durometer Shore D

3. Uji Tarik

Uji tarik yang akan dilakukan pada praktikum ini sesuai dengan standar American Society for Testing Materials (ASTM) D638 tipe I. Uji tarik dengan spesimen polimer rigid menggunakan standar ASTM D638 untuk menganalisa perilaku polimer dengan pembebanan hingga kekuatan tarik maksimum dengan dimensi yang ditunjukkan pada Gambar 3.13 dan penjelasan kriteria dimensi setiap tipe pada Tabel 3.1

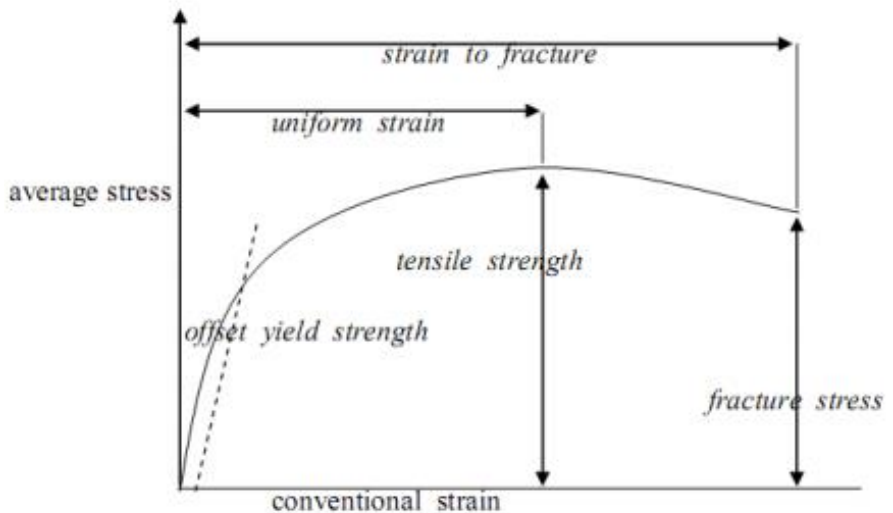


Gambar 3.13 Dimensi Spesimen Uji Tarik (ASTM D 638)

Tabel 3.1 Kriteria Dimensi Spesimen Uji Tarik (ASTMD 638).

Dimensi	Tipe I (mm)	Tipe II (mm)	Tipe III (mm)	Tipe V (mm)	Toleransi (mm)
W	13	6	19	3.18	± 0.5
L	57	57	57	9.53	± 0.5
WO	19	19	29	9.53	± 6.4
LO	165	183	246	63.5	Min
G	50	50	50	7.62	± 0.25
D	115	135	115	25.4	± 5
R	76	76	76	12.7	± 1
T	≤ 7	≤ 7	7 - 14	≤ 4	-

Hasil pengujian tarik adalah kurva antara ΔF dan Δl . Kemudian akan diubah menjadi kurva engineering stress-strain, seperti Gambar 3.14



Gambar 3.14 Kurva Tegangan Regangan (ASTM D 638)

Untuk mendapatkan kurva engineering stress-strain dari kurva antara ΔF dan Δl adaah dengan persamaan :

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{Persamaan 3.1}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \text{Persamaan 3.2}$$

σ = Engineering Stress (N/mm²)

F = Beban yang diberikan (N)

A = Luas penampang (mm²)

ε = Strain (tidak bersatuan, dinyatakan dalam persentase)

ΔL = Perubahan panjang (mm)

L = Panjang setelah pembebanan (mm)

4. Uji Biodegradasi

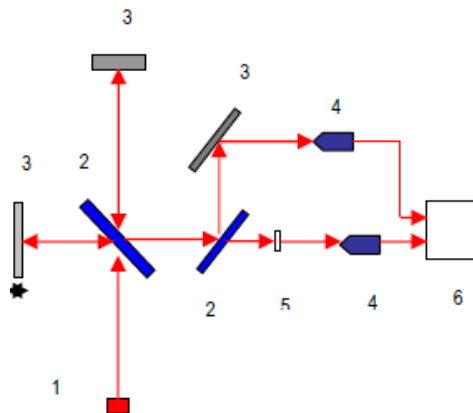
Pengujian biodegradabilitas digunakan untuk mengetahui kemampuan terdegradasi secara alami pada suatu material.



Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan metoda pengomposan tanpa tambahan bakteri atau mikroorganisme. Proses pengomposan dilakukan dengan menanam spesimen uji pada area tanah selama 5 minggu dengan pengecekan massa dan volume setiap satu minggu.

5. *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*

FTIR merupakan instrument yang menggunakan prinsip spektroskopi. Spektroskopi adalah spektroskopi inframerah yang dilengkapi dengan transformasi fourier untuk deteksi dan analisis hasil spektrumnya (Anam. 2007). Spektroskopi inframerah berguna untuk identifikasi senyawa organik karena spektrumnya yang sangat kompleks yang terdiri dari banyak puncak-puncak (Chusnul. 2011). Spektrum inframerah dihasilkan dari pentransmisian cahaya yang melewati sampel, pengukuran intensitas cahaya dengan detektor dan dibandingkan dengan intensitas tanpa sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrum inframerah yang diperoleh kemudian diplot sebagai intensitas fungsi energi, panjang gelombang (μm) atau bilangan gelombang (cm^{-1}) (Marcott (1986) ,Anam (2007)).



Gambar 3.15 Skema alat spektroskopi FTIR (Anam dkk, 2007)

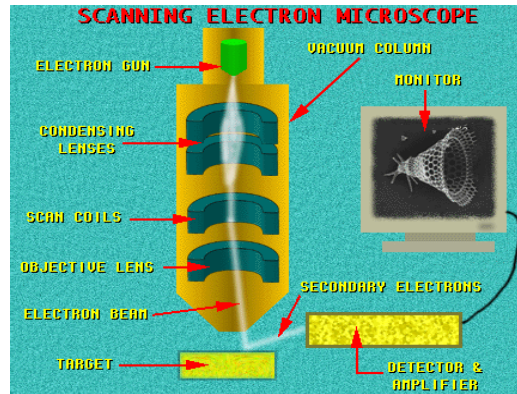


Gambar 3.15 menunjukkan skema alat spektroskopi, angka 1 menunjukkan sumber inframerah yang ditembakkan ke pembagi berkas (beam splitter), lalu inframerah diteruskan ke sampel uji (5), setelah melewati benda uji kemudian melewati sensor inframerah, dan menghasilkan gambar akhir (Anam dkk, 2007).

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui informasi terkait ikatan kimia yang ada. Ikatan kimia tersebut diindikasikan dengan puncak-puncak yang berbeda. Spesimen yang digunakan untuk pengujian FTIR berupa cuplikan kecil dari material yang dibuat. Mesin uji FTIR yang digunakan adalah Nicolet IS10. Sampel diletakkan *sample holder*, kemudian *detector* didekatkan pada sampel. Pastikan sampel uji memiliki permukaan yang rata dan ketebalan yang sama.

6. Uji Morfologi *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Metoda SEM digunakan untuk mengetahui morfologi dari suatu material berdasarkan standar ASTM E986. SEM sangat cocok digunakan dalam situasi yang membutuhkan pengamatan permukaan kasar dengan pembesaran berkisar antara 20 kali sampai 500.000 kali. SEM terdiri dari sebuah senapan elektron yang memproduksi berkas elektron pada tegangan dipercepat sebesar 2 – 30 kV. Berkas elektron tersebut dilewatkan pada beberapa lensa elektromagnetik untuk menghasilkan gambar berukuran $< \sim 10\text{nm}$ pada sampel yang ditampilkan dalam bentuk film fotografi atau ke dalam tabung layar. [Trewin, 1988]. Diagram skematik dan cara kerja SEM ditunjukkan oleh Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Diagram skematik cara kerja SEM (Trewin, 1988)

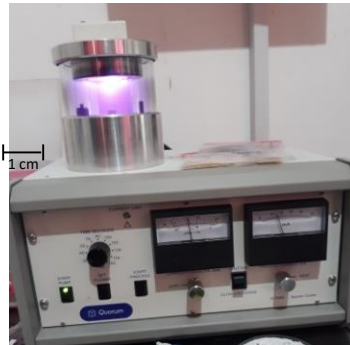
Cara kerja SEM adalah dengan menembakkan elektron dari *electron gun* lalu melewati *condensing lenses* dan pancaran elektron akan diperkuat dengan sebuah kumparan, setelah itu elektron akan difokuskan ke sampel oleh lensa objektif yang ada dibagian bawah. Pantulan elektron yang mengenai permukaan sampel akan ditangkap oleh *backscattered electron detector* dan *secondary electron detector* yang kemudian diterjemahkan dalam bentuk gambar pada display..

Sewaktu berkas elektron menumbuk permukaan sampel sejumlah elektron direfleksikan sebagai *backscattered electron* (BSE) dan yang lain membebaskan energi rendah *secondary electron* (SE). Elektron – elektron BSE dan SE yang direfleksikan dan dipancarkan sampel dikumpulkan oleh sebuah *scintillator* yang memancarkan sebuah pulsa cahaya pada elektron yang datang. Cahaya yang dipancarkan kemudian diubah menjadi sinyal listrik dan diperbesar oleh *photomultiplier*. Setelah melalui proses pembesaran sinyal tersebut dikirim ke bagian *grid* tabung sinar katoda. *Scintillator* biasanya memiliki potensial positif sebesar 5 – 10 kV untuk mempercepat energi rendah yang dipancarkan



elektron agar cukup untuk mengemisikan cahaya tampak ketika menumbuk *scintillator* (Nuha Desi, 2008).

Mesin SEM yang digunakan adalah Inspect S50. Sampel yang digunakan dilengketkan pada *holder* dengan menggunakan selotip karbon *double tape*. Kemudian dimasukkan ke dalam alat pelapis *autofine-coater* JFC-1100 untuk melapisi sampel dengan lapisan tipis Au-Pd (80:20) ditunjukkan oleh Gambar 3.17. Lalu, sampel dimasukkan dalam *specimen chamber* pada alat SEM. Perbesaran yang digunakan adalah 100 – 3000 kali.



Gambar 3.17. Proses pelapisan sampel menggunakan *autofine-coater* JFC-1100

3.7 Rancangan Penelitian

Untuk memperoleh data yang sistematis, maka dari penelitian ini akan dibuat rancangan penelitian dan rancangan jadwal penelitian seperti pada Tabel 3.2



Tabel 3. 2 Rancangan Penelitian

Kode Sampel	Jenis <i>Filler</i>	Material (%Massa)			
		Vinil Ester	Mekpo	Cobalt Naphtalate	<i>Filler</i>
A	Pati Gandum	85	4	1	10
B	Pati Kentang	85	4	1	10
C	Pati Ketan	85	4	1	10
D	Minyak Jarak	85	4	1	10
E	Minyak Sawit	85	4	1	10
F	Limbah Karet Ban	85	4	1	10



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini merupakan rekayasa polimer vinil ester berbasis bio dengan campuran material berbahan dasar tumbuhan. Material yang digunakan sebagai campuran, yaitu pati gandum, pati kentang, pati ketan, minyak jarak, minyak sawit, dan serbuk limbah karet ban. Penelitian ini dilakukan dengan mencampurkan vinil ester resin dan masing-masing material campuran. Penelitian ini menghasilkan campuran berupa polimer *blend* yaitu, vinil ester/pati gandum (90/10), vinil ester/pati kentang (90/10), vinil ester/pati ketan (90/10), vinil ester/minyak jarak (90/10), vinil ester/minyak sawit (90/10), dan vinil ester/serbuk limbah karet ban (90/10). Polimer *blend* yang dihasilkan kemudian dilakukan analisa untuk diketahui sifat mekaniknya.

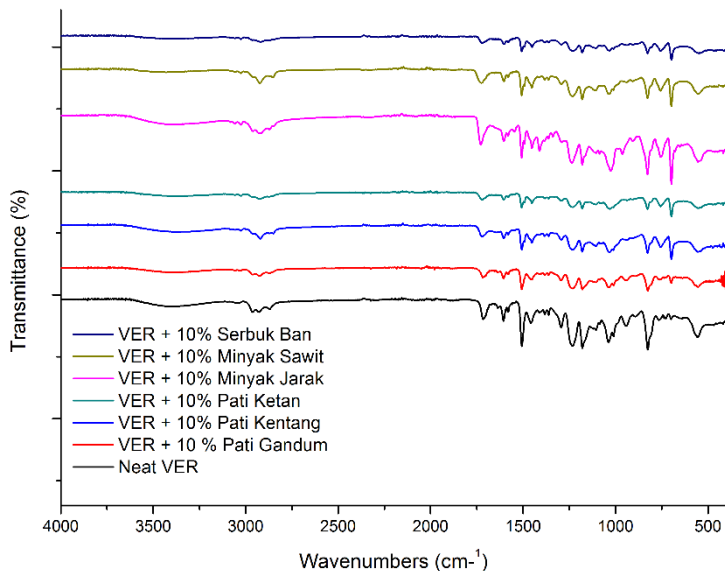
4.1 Pengaruh Pengisi *Biobased* Material terhadap Struktur Ikatan Vinil Ester dengan Analisa FTIR.

Analisa FTIR bertujuan untuk mengamati gugus fungsi dan ikatan kimia yang terbentuk dari *biobased* polimer vinil ester. Analisa FTIR dilakukan terhadap masing-masing spesimen *biobased* vinil ester dengan mengamati gugus fungsi serta ikatan kimia yang muncul.

Gambar 4.1 menunjukkan daerah puncak serapan sinar inframerah dari *biobased* polimer vinil ester. Daerah serapan sinar inframerah dengan garis spektrum berwarna hitam merupakan material polimer vinil ester murni. daerah serapan vinil ester. Pada puncak serapan 3394.22 cm^{-1} menunjukkan ikatan C=O yang mengalami peregangan yang merupakan gugus fungsi keton. Kemudian terdapat ikatan C-H yang mengalami peregangan pada puncak serapan 2962.53 cm^{-1} , 2927.60 cm^{-1} , dan 2870.29 cm^{-1} fenomena tersebut menunjukkan adanya gugus fungsi alkane (CH_2 atau CH_3). Pada puncak serapan 1716.69 cm^{-1} menunjukkan ikatan C=O mengalami regangan yang merupakan gugus fungsi dari ester.



Kemudian terdapat ikatan C=C yang bergetar pada puncak serapan 1605.94 cm^{-1} dan 1507.33 cm^{-1} yang menunjukkan gugus fungsi dari cincin aromatic atau *aromatic homocyclic*. Pada puncak serapan 1458.18 cm^{-1} menunjukkan ikatan C-H yang mengalami deformasi yang merupakan gugus fungsi alkane (CH_3). Pada puncak serapan 1294.39 cm^{-1} terdapat ikatan O-H yang mengalami deformasi yang menunjukkan adanya gugus fungsi alkohol. Pada puncak serapan 1231.94 cm^{-1} terdapat ikatan R-O-Ar yang mengalami peregangannya merupakan gugus fungsi dari eter aromatik. Kemudian terjadi peregangannya ikatan C-O pada puncak serapan 1179.23 cm^{-1} dan 1037.56 cm^{-1} yang menunjukkan gugus fungsi ester dan alkohol. Pada puncak serapan 943.00 cm^{-1} ikatan O-H mengalami deformasi yang merupakan gugus fungsi alkohol. Pada puncak 825.64 cm^{-1} menunjukkan ikatan C-H yang mengalami deformasi yang menunjukkan adanya cincin aromatik.



Gambar 4.1 Spektrum FTIR *biobased* polimer vinil ester.

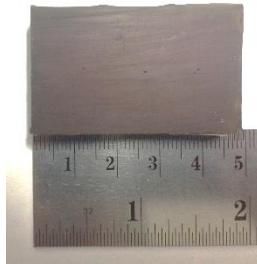


Spektrum FTIR vinil ester dapat diidentifikasi dengan dominasi dari grup alkane $-\text{CH}_2$ dan $-\text{CH}_3$ pada daerah serapan 2960 cm^{-1} , 2923 cm^{-1} , 2871 cm^{-1} , dan 2851 cm^{-1} . Kemudian cincin aromatic yang muncul pada daerah serapan 1604 cm^{-1} dan 826 cm^{-1} . Daerah serapan 1712 cm^{-1} diidentifikasi dengan adanya ikatan $\text{C}=\text{O}$ *stretching* dan terdapat grup $-\text{C}-\text{O}-\text{C}$ pada daerah 1220 cm^{-1} (Y.Rodriguez-Mella et al, 2014)

Gambar 4.1 menunjukkan adanya daerah puncak serapan baru yang muncul pada *biobased* vinil ester, yaitu pada daerah puncak serapan 750 cm^{-1} - 760 cm^{-1} dan 690 cm^{-1} - 700 cm^{-1} . Daerah puncak serapan rentang 735 cm^{-1} - 770 cm^{-1} merupakan daerah serapan ikatan $\text{C}-\text{H}$ *defleksi* dengan gugus fungsi cincin benzena dengan 4 atom H bebas. Daerah serapan 690 cm^{-1} - 710 cm^{-1} merupakan daerah serapan ikatan $\text{C}-\text{H}$ *defleksi* dengan gugus fungsi cincin benzena dengan 5 atom H bebas (B.D Mistry, 2009). Hal ini membuktikan bahwa *biobased* vinil ester membentuk ikatan baru dengan vinil ester murni berupa cincin benzena dengan 4 atom bebas dan cincin benzena dengan 5 atom bebas. *Biobased* polimer vinil ester dengan pengisi minyak jarak memiliki transmitansi gelombang yang lebih curam daripada *biobased* vinil ester yang lain maupun vinil ester murni.

4.2 Pengaruh Pengisi *Biobased* Material terhadap Sifat Kekerasan Vinil Ester.

Pengujian kekerasan material *biobased* vinil ester dilakukan dengan menggunakan alat durometer shore D dengan standard pengujian ASTM D2240 dengan indentor baja berbentuk tabung silinder. Pengujian dilakukan pada 3 titik indentasi pada setiap spesimen, kemudian diambil nilai rata – rata dari hasil indentasi tersebut. Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui pengaruh pengisi *biobased* material terhadap sifat kekerasan vinil ester. Gambar 4.2 menunjukkan dimensi spesimen yang digunakan dalam pengujian kekerasan.



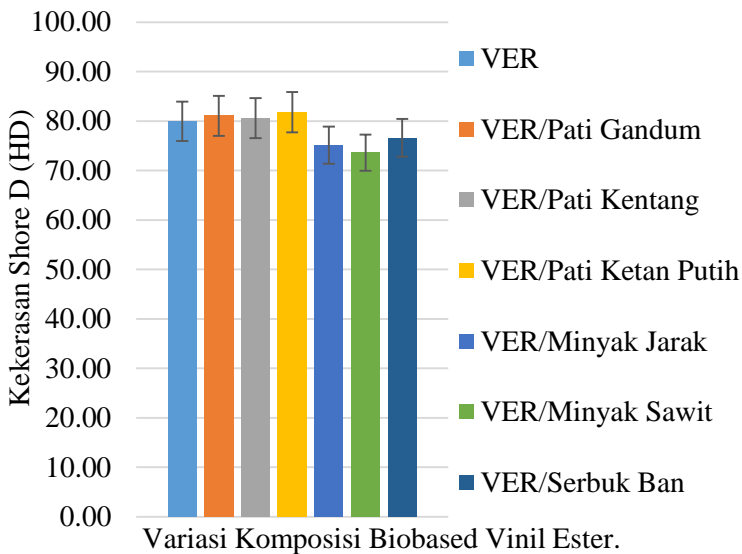
Gambar 4.2 Dimensi Spesimen Pengujian Kekerasan
Biobased Vinyl Ester.

Hasil pengujian kekerasan *biobased* vinil ester ditunjukkan pada Gambar 4.3. Material vinil ester murni yang ditunjukkan pada grafik batang berwarna biru muda memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar 79,94 HD. Kemudian, *biobased* vinil ester berpengisi pati gandum yang ditunjukkan dengan grafik batang berwarna oranye memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar 81,06 HD. *Biobased* vinil ester berpengisi pati kentang yang ditunjukkan dengan grafik batang berwarna abu-abu memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar 80,61 HD. Kemudian, *biobased* vinil ester berpengisi pati ketan yang ditunjukkan dengan grafik batang berwarna kuning memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar 81,78 HD. *Biobased* vinil ester berpengisi minyak jarak yang ditunjukkan dengan grafik batang berwarna biru memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar 75,11 HD. Kemudian, *biobased* vinil ester berpengisi minyak sawit yang ditunjukkan dengan grafik batang berwarna hijau memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar 73,61 HD. *Biobased* vinil ester berpengisi serbuk limbah ban yang ditunjukkan dengan grafik berwarna biru tua memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar 76,61 HD.

Berdasarkan pengujian kekerasan yang telah dilakukan, material *biobased* pati gandum, pati kentang, dan pati ketan memiliki kemampuan meningkatkan sifat kekerasan vinil ester. Sedangkan *biobased* minyak jarak, minyak sawit, dan serbuk



limbah memiliki pengaruh turunnya nilai kekerasan dari vinil ester. Sifat kekerasan *biobased* vinil ester tertinggi yaitu *biobased* vinil ester berpengisi pati ketan dengan nilai kekerasan 81,78 HD atau 71,78 HRR atau 61,78 Barcol *Hardness*. *Cured* vinil ester memiliki nilai kekerasan pada temperature kamar dengan rentang 40-50 Barcol *Hardness* (S.Goodman, 1998).



Gambar 4.3 Pengaruh Pengisi *Biobased* terhadap Kekerasan Polimer Vinil Ester.

4.3 Pengaruh *Biobased* Material terhadap Sifat Kekuatan Tarik Maksimum Terhadap Vinil Ester.

Pengujian kekuatan tarik dilakukan untuk mengetahui pengaruh *biobased* material terhadap sifat kekuatan tarik vinil ester. Pengujian kekuatan tarik *biobased* polimer Vinil ester dilakukan menggunakan mesin uji tarik dengan standard pengujian ASTM D 638 tipe I. Dimensi sampel yang diujikan memiliki ketebalan rata-



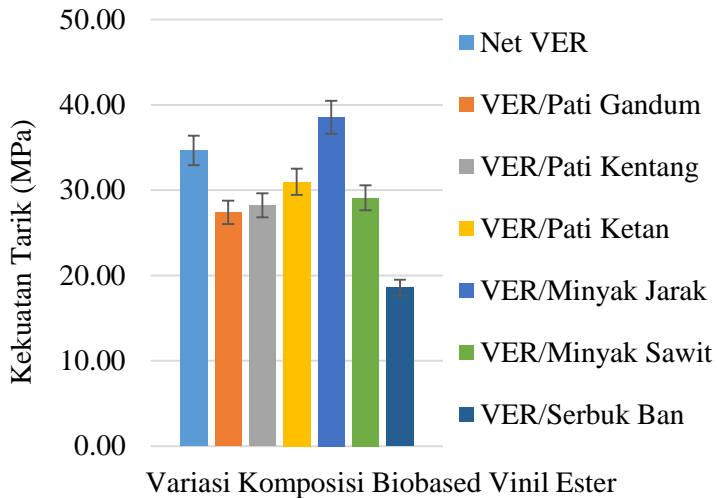
rata 6 mm, lebar rata-rata *gage area* 13 mm, dan panjang total sampel rata-rata 165 mm. Pengujian dilakukan terhadap 3 sampel setiap variabel dengan mencari rata-rata nilai kekuatan tarik maksimum sebagai nilai kekuatan tarik sebuah variabel (F.C Campbell, 2010). Gambar 4.4 menunjukkan dimensi pengujian kekuatan tarik variasi komposisi biobased vinil ester.



Gambar 4.4 Dimensi Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik Variasi Komposisi *Biobased* Vinil Ester.

Hasil pengujian kekuatan tarik ditunjukkan pada Gambar 4.5. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, *neat* vinil ester dengan grafik batang berwarna biru muda memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 34,66 Mpa. Kemudian *biobased* vinil ester berpengisi pati gandum dengan grafik batang berwarna oranye memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 27,40 Mpa. *Biobased* vinil ester berpengisi pati kentang dengan grafik batang berwarna abu-abu memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 28,21 Mpa. Kemudian *biobased* vinil ester berpengisi pati ketan dengan grafik batang berwarna kuning memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 30,97 Mpa. *Biobased* vinil ester berpengisi minyak jarak yang ditunjukkan grafik batang berwarna biru memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 38,54 Mpa. Kemudian *biobased* vinil ester berpengisi minyak sawit dengan grafik batang berwarna hijau memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 29,11 Mpa. *Biobased* vinil ester serbuk limbah ban dengan grafik berwarna biru tua memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 18,55 Mpa.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, *biobased* material dengan pengisi minyak jarak memiliki kemampuan untuk meningkatkan sifat kekuatan tarik vinil ester.



Gambar 4.5 Pengaruh Pengisi *Biobased* terhadap Kekuatan Tarik Polimer Vinil Ester.

Minyak jarak secara alami mengandung gugus hidroksil pada struktur kimianya dan dapat dengan mudah berikatan. Sekitar 90% komposisi minyak jarak adalah asam risinoleat dengan satu gugus hidroksil pada setiap karbon ke-12 dan ikatan rangkap antara karbon ke-9 dan ke-10 (Luong N.D et al, 2016).

Wood et al telah meneliti secara berkala mengenai sintesis *biobased* polimer menggunakan minyak tanaman termodifikasi. Sintesis termoset resin dengan metode *free radical polymerization* atau kopolimerisasi dengan reagen seperti *styrene*. Sifat mekanik yang dihasilkan mampu menyaingi termoset polyester dan vinil ester. Minyak tanaman terepoksidasi telah secara luas dimanfaatkan pada pelapisan permukaan, perekat tinta, dan komposisi mayor dari beberapa resin (Kutz Myer, 2017).

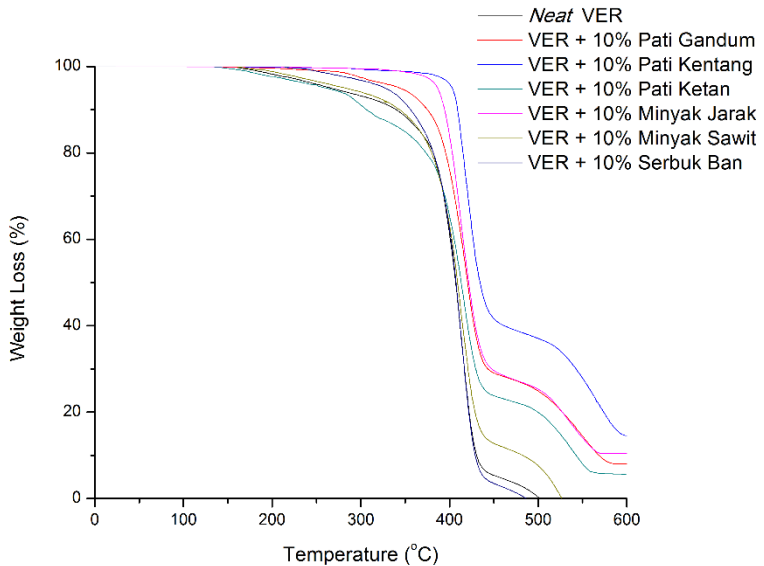


4.4 Pengaruh *Biobased* Material terhadap Kestabilan Termal Vinil Ester

Stabilitas termal diketahui melalui perhitungan degradasi massa terhadap kenaikan temperatur menggunakan instrumen *Thermogravimetric Analysis* (TGA). Hasil dari TGA dapat digunakan untuk menyatakan batas temperatur kerja dari material sebelum mengalami degradasi. Temperatur pemanasan yang digunakan $25^{\circ}\text{C} - 600^{\circ}\text{C}$ dengan laju pemanasan $10^{\circ}\text{C}/\text{menit}$. Untuk tujuan komparasi, kurva dari *neat* vinil ester dimasukkan kedalam diagram. Karakteristik dari parameter temperatur dipilih pada temperatur *onset*, dimana terjadi inisiasi pengurangan massa dan temperatur maksimum degradasi (T_{max}) yang merupakan temperatur tertinggi dari pengurangan massa (G.Silverajah, 2012).

Gambar 4.6 menunjukkan kurva *thermogravimetric analysis* (TGA) dari variasi komposisi biobased vinil ester. Kurva *thermogravimetric analysis* (TGA) dari variasi komposisi biobased vinil ester menunjukkan penurunan presentase massa terhadap kenaikan temperatur. T_5 didapatkan dari penurunan presentase massa tepat saat massa dari biobased vinil ester berkurang 5% atau bersisa 95%. T_5 menunjukkan awal terjadinya dekomposisi suatu material polimer.

Gambar 4.6 menunjukkan titik T_5 dari variasi komposisi biobased vinil ester. Vinil ester murni mengalami penurunan massa 5% atau titik T_5 pada temperatur $266,8^{\circ}\text{C}$. Biobased vinil ester pati gandum mengalami penurunan massa 5% atau titik T_5 pada temperatur $344,4^{\circ}\text{C}$. Biobased vinil ester pati kentang mengalami penurunan massa 5% atau T_5 pada temperatur $403,0^{\circ}\text{C}$. Biobased vinil ester pati ketan mengalami penurunan massa 5% atau T_5 pada temperatur $262,0^{\circ}\text{C}$. Biobased vinil ester minyak jarak mengalami penurunan massa 5% atau T_5 pada temperatur $386,7^{\circ}\text{C}$. Biobased vinil ester minyak sawit mengalami penurunan massa 5% atau T_5 pada temperatur $282,8^{\circ}\text{C}$. Biobased vinil ester serbuk ban mengalami penurunan massa 5% atau T_5 pada temperatur 327°C .



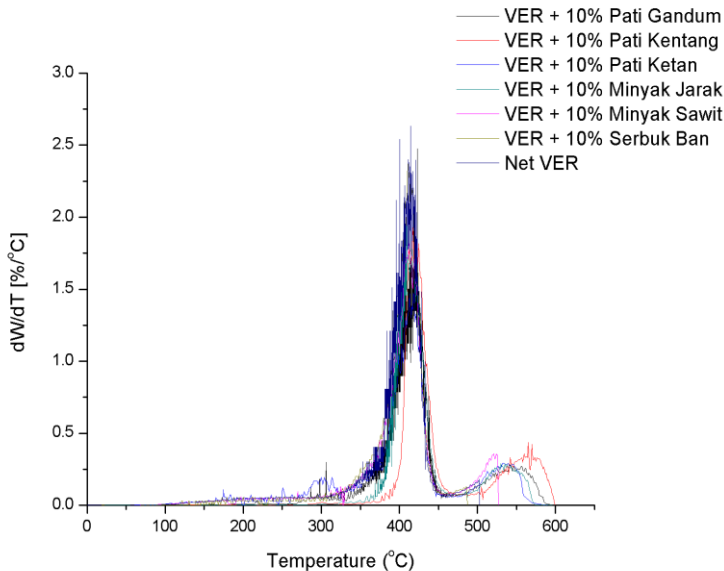
Gambar 4.6 Kurva *Thermogravimetric Analysis* (TGA) dari Variasi Komposisi *Biobased Vinyl Ester*.

Gambar 4.7 menunjukkan kurva *Derivative Thermo-gravimetric* (DTG) dari variasi komposisi biobased vinil ester. Kurva *Derivative Thermo-gravimetric* (DTG) dari variasi komposisi biobased vinil ester menunjukkan penurunan presentase massa per temperatur terhadap kenaikan temperatur. Temperatur akhir terjadinya dekomposisi polimer ditunjukkan oleh temperatur maksimum penurunan presentase massa per temperatur terhadap kenaikan temperatur yang disebut T_{maks} .

Gambar 4.7 menunjukkan vinil ester murni mengalami T_{maks} pada temperatur 414,4 °C. Biobased vinil ester pati gandum mengalami T_{maks} pada temperatur 414,6 °C. Biobased vinil ester pati kentang mengalami T_{maks} pada temperatur 417,7 °C. Biobased vinil ester pati ketan mengalami T_{maks} pada temperatur 418,0 °C. Biobased vinil ester minyak jarak mengalami T_{maks} pada temperatur 409,6



°C. Biobased vinil ester minyak sawit mengalami T_{maks} pada temperatur 412,0 °C. Biobased vinil ester serbuk ban mengalami T_{maks} pada temperatur 411,0 °C.



Gambar 4.7 Kurva *Derivative Thermogravimetric* (DTG) dari Variasi Komposisi *Biobased* Vinil Ester.

Tabel 4.1 Pengaruh Pengisi *Biobased* terhadap Temperatur Dekomposisi T_5 dan T_{maks} dari Polimer Vinil Ester

Material	T_5 (°C)	T_{maks} (°C)
VER	266.8	414.4
VER/Pati Gandum	344.4	414.6
VER/Pati Kentang	403.0	417.0
VER/Pati Ketan	262.0	418.0
VER/Minyak Jarak	386.7	409.6
VER/Minyak Sawit	282.8	412.0
VER/Serbuk Ban	327.0	411.0



Tabel 4.1 menunjukkan variasi T_5 dan T_{maks} dari variasi komposisi biobased vinil ester. Variasi komposisi pati gandum, pati kentang, minyak jarak, minyak sawit, dan serbuk ban meningkatkan kesetabilan temperatur dari biobased vinil ester. Komposisi pati ketan menurunkan kesetabilan temperatur biobased vinil ester. Biobased vinil ester pati kentang memiliki kesetabilan temperatur tertinggi dengan T_5 403,0 °C.

Tahap pertama terjadinya dekomposisi terjadi pada temperatur berkisar 140-390°C yang merupakan fenomena penguapan dan dekomposisi dari senyawa yang tidak berikatan. Kemudian tahap kedua dekomposisi terjadi pada temperatur 320-450°C dengan degradasi yang cepat dan merupakan fenomena degradasi dari struktur *crosslink* polimer. Kemudian diatas temperature 450°C merupakan tahap terakhir dekomposisi atau dapat disebut juga degradasi material residu (Chengguo Liu et al, 2014)

4.5 Pengaruh *Biobased* Material terhadap Biodegradasi Vinil Ester.

Analisa biodegradasi dilakukan untuk mengamati kecepatan degradasi material polimer vinil ester berbasis bio pada kondisi lingkungan alami. Analisa biodegradasi dilakukan menggunakan metode pengomposan didalam tanah dengan kondisi alami. Pengujian degradabilitas metode pengomposan dilakukan dengan mengubur spesimen didalam tanah kedalaman 15 cm dengan rentang waktu 6 minggu. Pengurangan massa digunakan sebagai representasi degradasi yang terjadi terhadap spesimen biobased vinil ester.

Tabel 4.2 menunjukkan degradasi massa dari variasi biobased vinil ester. Vinil ester murni tidak mengalami degradasi sama sekali selama 6 minggu pengujian biodegradasi. Biobased vinil ester pati gandum mengalami degradasi massa sebesar 0,58 % selama 6 minggu pengujian biodegradasi. Biobased vinil ester pati kentang mengalami degradasi massa sebesar 0,96 % selama 6 minggu pengujian biodegradasi. Biobased vinil ester pati ketan



mengalami degradasi massa sebesar 0,68 % selama 6 minggu pengujian biodegradasi. Biobased vinil ester minyak jarak mengalami degradasi sebesar 0,14 % selama 6 minggu pengujian biodegradasi. Biobased vinil ester minyak sawit mengalami degradasi sebesar 0,37 % selama 6 minggu pengujian biodegradasi. Biobased vinil ester serbuk ban mengalami degradasi sebesar 0,06 % selama 6 minggu pengujian biodegradasi. Presentase degradasi tertinggi terdapat pada biobased vinil ester pati kentang dengan presentase 0,96 % dalam 6 minggu.

Tabel 4.2 Pengaruh Pengisi *Biobased* terhadap Persentase Degradasi Polimer Vinil Ester.

Material	Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Degradasi (%)
VER	8.5502	8.5502	0.00
VER/Pati Gandum	8.2150	8.1670	0.58
VER/Pati Kentang	8.5108	8.4290	0.96
VER/Pati Ketan	8.2809	8.2243	0.68
VER/Minyak Jarak	7.4774	7.4667	0.14
VER/Minyak Sawit	7.4212	7.3937	0.37
VER/Serbuk Ban	8.9400	8.9345	0.06

Kandungan granula pati memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kemampuan biobadegradasi dari vinil ester. Senyawa amilopektin yang memiliki struktur bercabang cenderung tidak sekuat dan sefleksibel amilosa (Winarno, 1992). Degradasi aerobik dari senyawa aromatik disebabkan oleh molekul oksigen. Oksidasi mengawali proses metabolisme yang terjadi. Mikroorganisme menggunakan oksigen untuk memecah cincin benzenoid. Enzim yang dikeluarkan oleh mikroorganisme mempermudah proses degradasi karena juga mengikat atom oksigen dari struktur kimia *biobased* vinil ester (K.Leja, 2010).

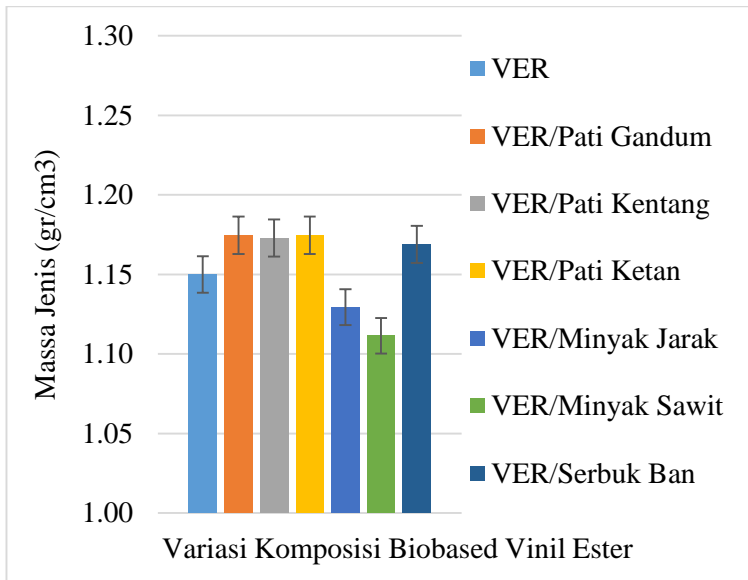


4.6 Pengaruh Pengisi *Biobased* Material terhadap Massa Jenis Vinil Ester.

Analisa densitas atau massa jenis dilakukan untuk mengetahui nilai densitas dari material polimer *blend* vinil ester. Analisa densitas dilakukan menggunakan metode ASTM D-792 dengan media air. Analisa densitas dilakukan terhadap spesimen polimer *blend* vinil ester.

Gambar 4.8 menunjukkan massa jenis dari variasi komposisi biobased vinil ester. Vinil ester murni yang ditunjukkan pada grafik batang berwarna biru muda memiliki massa jenis 1.15 gr/cm^3 . Biobased vinil ester pati gandum yang ditunjukkan grafik batang berwarna oranye memiliki massa jenis 1.17 gr/cm^3 . Biobased vinil ester pati kentang yang ditunjukkan grafik batang berwarna abu-abu memiliki massa jenis 1.17 gr/cm^3 . Biobased vinil ester pati ketan yang ditunjukkan grafik batang berwarna kuning memiliki massa jenis 1.17 gr/cm^3 . Biobased vinil ester minyak jarak yang ditunjukkan grafik batang berwarna biru memiliki massa jenis 1.13 gr/cm^3 . Biobased vinil ester minyak sawit yang ditunjukkan grafik batang berwarna hijau memiliki massa jenis 1.11 gr/cm^3 . Biobased vinil ester serbuk limbah ban yang ditunjukkan grafik berwarna biru tua memiliki massa jenis 1.17 gr/cm^3 .

Massa jenis vinil ester cenderung meningkat dengan ditambahkannya variasi pati dan limbah serbuk ban dikarenakan granula pati dan serbuk ban memiliki massa jenis yang lebih besar dari pada massa jenis *neat* vinil ester. Sedangkan dengan pengisi minyak jarak dan minyak sawit, massa jenis vinil ester cenderung menurun.



Gambar 4.8 Pengaruh Pengisi *Biobased* terhadap Massa Jenis Polimer Vinil Ester.

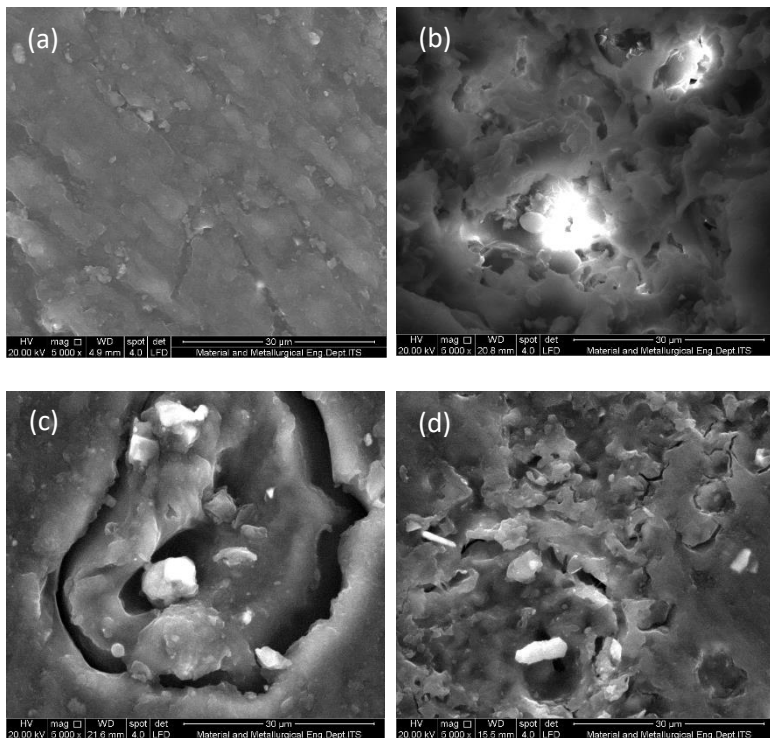
4.7 Analisa Morfologi *Biobased* Polimer Vinil Ester.

Analisa morfologi bertujuan untuk mengamati ikatan antara pengisi *biobased* material terhadap matriks vinil ester dan keseragaman ikatan antara vinil ester dan pengisi *biobased* secara mikro. Analisa morfologi dilakukan menggunakan instrumen *Scanning Electron Microscope* (SEM) pada daerah penampang melintang (*cross section*) *biobased* polimer vinil ester.

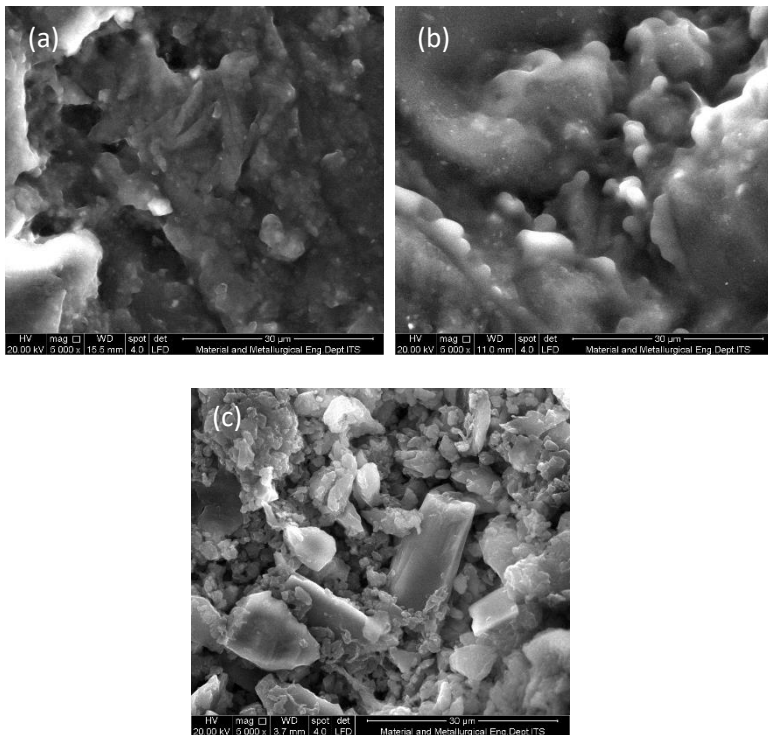
Mikrograf dari hasil pengujian dapat diamati pada Gambar 4.9.(a) merupakan morfologi *cross section* vinil ester murni. Permukaan terlihat halus dan tidak tampak adanya morfologi lain pada mikrograf *neat* vinil ester.(b) merupakan morfologi *cross section* dari *biobased* vinil ester berpengisi pati gandum. Terdapat granula pati gandum yang berbentuk bulat-bulat. Granula pati merupakan kristalin parsial dengan bentuk bulatan sereal (Eliason,



2004).(c) morfologi *cross section biobased* vinil ester pati kentang menunjukkan terdapat granula pati kentang yang berbentuk bulat oval tidak sempurna. Pati kentang memiliki bentuk oval atau bulat (James BeMiller, 2009).(d) morfologi *cross section biobased* vinil ester pati ketan. Terlihat terdapat granula pati ketan yang berbentuk sereal. Pati ketan memiliki granula berbentuk sereal semi kristalin. Bentuk kristalin tersebut disebabkan oleh konten amilosa dan struktur amilpektin (Eliason, 2004).



Gambar 4.9 Mikrograf SEM *Biobased* Vinil Ester perbesaran 5000x (a) vinil ester murni (b) vinil ester/pati gandum (c) vinil ester/pati kentang (d) vinil ester/pati ketan.



Gambar 4.10 Mikrograf SEM *Biobased* Vinil Ester perbesaran 5000x (a) vinil ester/minyak jarak (b) vinil ester/minyak sawit (c) vinil ester/serbuk limbah ban.

Gambar 4.10 (a) menunjukkan morfologi *cross sectional area* dari *biobased* vinil ester minyak jarak. Terlihat pengaruh ikatan trigliserida terhadap vinil ester yang terlihat rigid dan bertekstur kasar. (b) morfologi *cross sectional area* dari *biobased* vinil ester resin menunjukkan tekstur yang hampir sama dengan *biobased* vinil ester minyak jarak, namun terlihat lebih halus. Gambar (a) dan (b) menunjukkan pengaruh minyak tanaman yang memiliki sifat mudah menggumpal dan berikatan dengan senyawa organik lainnya



(Abdul R, 2016). (c) morfologi *cross sectional area* dari *biobased* vinil ester berpengisi serbuk limbah ban. Terlihat adanya serbuk limbah ban didalam *biobased* vinil ester tidak mampu berikatan secara kuat, sehingga memberikan pengaruh terhadap turunnya sifat kekuatan tarik dari vinil ester murni.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian *biobased* vinil ester dengan variasi pengisi pati gandum, pati kentang, pati ketan, minyak jarak, minyak sawit, dan serbuk limbah ban didapatkan kesimpulan :

1. Kekerasan polimer vinil ester meningkat dengan variasi pengisi *biobased* pati gandum, pati kentang, dan pati ketan. Kekerasan polimer vinil ester menurun dengan variasi pengisi *biobased* minyak jarak, minyak sawit, dan serbuk limbah ban. Kekerasan tertinggi terdapat pada *biobased* polimer vinil ester dengan pengisi pati ketan.
2. Kekuatan tarik polimer vinil ester meningkat dengan variasi pengisi *biobased* minyak jarak. Kekuatan tarik polimer vinil ester menurun dengan variasi pengisi *biobased* pati gandum, pati kentang, pati ketan, minyak sawit, dan serbuk limbah ban.
3. Stabilitas temperatur polimer vinil ester meningkat dengan variasi pengisi *biobased* pati gandum, pati kentang, minyak jarak, minyak sawit, dan serbuk limbah ban. Stabilitas temperatur polimer vinil ester menurun dengan variasi pengisi *biobased* pati ketan. Stabilitas temperatur tertinggi terdapat pada *biobased* polimer vinil ester pati kentang.
4. Biodegradasi polimer vinil ester meningkat dengan seluruh variasi pengisi *biobased*. Biodegradasi tertinggi terdapat pada *biobased* polimer vinil ester pati kentang.

Berdasarkan kesimpulan yang telah diperoleh, *Biobased* polimer vinil ester memiliki sifat mekanik yang baik dan ramah terhadap lingkungan, sehingga dapat digunakan sebagai kandidat pengganti polimer vinil ester dengan nilai tambah dapat terdegradasi secara alami pada tanah.



5.2 Saran

Penelitian *biobased* vinil ester dengan variasi pengisi sumber daya alam terbarukan memiliki saran untuk penelitian berikutnya :

1. Menggunakan metode lain untuk perhitungan biodegradasi polimer.
2. Menambahkan presentase massa sebagai variabel penelitian.
3. Memfokuskan penelitian pada *biobased* polimer vinil ester dengan variasi pati kentang, pati ketan, dan minyak jarak.

DAFTAR PUSTAKA

- A.I. Alateyah., H. N. Dhakal, and Z. Y. Zhang. 2013. **Mechanical and Thermal Properties Characterisation of Vinyl Ester Matrix Nanocomposites Based On Layered Silicate.** International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering Vol:7, No:9.
- Anggesta M.E.P dan Fithri C.N. 2015. **Modifikasi Pati Ubi Jalar Putih (*Ipomoea batatas L.*) Menggunakan Enzim Amylomaltase Menjadi Pati *Thermoreversible*.** Jurnal Pangan dan Agro Industri Vol.3 No.2 Hal.749 – 755.
- Autar K.Kaw. 2006. **Mechanic of Composite Materials Second Edition.** London : Taylor & Francis Group.
- BeMiller, James. 2009. **Starch Chemistry and Technology.** USA : Academic Press.
- Bujang B.K.Huat, 2004. **Application of Scrap Tires as Earth Reinforcement for Repair of Tropical Residual Soil Slope.** Malaysia : University Malaysia. Malaysia.
- Carl Thodesen, Khaldoun Shatanawi, and Sherji Amirkhanian. 2009. **Effect of Crumb Rubber Characteristics on Crumb Rubber Modified (CRM) Binder Viscosity.** Science Direct, Construction and Building Materials 23 (2009) 295-303.
- Charles dan E.Carraher Jr. 2003. **Polymer Chemistry.** New York : Marcel Dekker, Inc.
- Eva B.Sihaloho. 2011. **Evaluasi Biodegradabilitas Plastik Berbahan Dasar Campuran Pati dan Polietilen**

- Menggunakan Metode Enzimatik, Konsorsia Mikroba, dan Pengomposan.** Depok : Universitas Indonesia.
- Eliasson, A.C. 2004. **Starch in Food.** England : Woodhead Publishing Limited.
- Exposure Research. 2009. **The Use of Recycled Tire Materials on Playgrounds & Artificial Turf Fields.** USA : Enviromental Protection Agency Green Purchasing Case Studies.
- F.C Campbell. 2010. **Structural Composite Material.** USA : ASM International.
- Fakhari Alireza, Rahmat Abdul Razak, Wahit Mat Uzir, Mustapha S.H.N, dan Tajulruddin W.N Wan. 2015. **Mechanical properties of hybrid thermosets from vinyl ester resin and acrylated epoxidized palm oil (AEPO).** Trans Tech Publications, Applied Mechanics and Materials Vol.695 73 – 76.
- Frank D.Gunstone. 2002. **Vegetables Oils in Food Technology Composition, Properties, and Uses.** United Kingdom : Blackwell Publishing.
- George Odian. 2004. **Principles of Polymerization.** New York : John Wiley & Sons.
- Goodman, S.H. 1998. **Handbook of Thermoplastic.** USA : Noyes Publications.
- Harold McGee. 2004. **On Food and Cooking The Science and Lore of the Kitchen.** New York : Scribner.
- Heitzman, M.A. 1992. **State of Practice Design and Construction of Asphalt Paving Materials with Crumb Rubber Modifier.** Washington DC : Federal Highway Administration

- Hustiany, R. 2006. **Modifikasi asilasi dan suksinilasi pati tapioka sebagai bahan enkapsulasi komponen flavor**. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Ketaren,S. 1986. **Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan**. Jakarta : UI-Press
- Kusnandar, F. 2011. **Kimia Pangan Komponen Mikro**. Jakarta : PT.Dian Rakyat
- Kutz Myer. 2017. **Applied Plastic Engineering Handbook**. United States : William Andrew & Elsevier Inc.
- L.H Sperling. 2006. **Introduction to Physical Polymer Science**. New York : John Wiley & Sons.
- Leja Kataryzna and Grazyna Lewandowicz. 2010. **Polymer Biodegradation and Biodegradable Polymers**. Polish Journal of Environment Study, Vol.19, No.2, 255 – 256.
- Liu Chengguo, Li Jun, Lei Wen, dan Zhou Yonghong. 2014. **Development of Biobased Unsaturated Polyester Resin Containing Highly Functionalized Castor Oil**. Elsevier, Industrial Crops and Products 52 (2014) 329 – 337.
- Luong,N.D, Le Hoanh Sins, Malin Minna, Weisser Jurgen, Walter Torsten, Schnabelrauch Matthias, Seppala Jukka. 2016. **Synthesis and Characterization of Castor Oil Segmented Thermoplastic Polyurethane with Controlled Mechanical Properties**. Science Direct, European Polymer Journal, S0014-3057(16)30491-8.
- Malcomn P, Stevens. 1999. **Polymer Chemistry an Introduction**. England : Oxford University Press.
- Marlina, N. M. Surdia, C. L. Radiman & S. Achmad . 2004. **Pengaruh Konsentrasi Oksidator pada Proses Hidroksilasi Minyak Jarak (Castor Oil) Dengan**

- atau Tanpa Proteksi Gugus Hidroksi.** PROC. ITB Sains & Tek. Vol. 36 A, No. 1, 2004, 33-43.
- Melik Bekhiti., Habib Trouzine., Aissa Asroun. 2014. **Properties of Waste Tire Rubber Powder.** Engineering, Technology & Applied Science Research Vol. 4, No. 4, 2014, 669-672.
- Mella, Y.Rodriguez, Moran, Thais Lopez, Quintela, M.A.Lopez, Lazzari Massimo. 2014. **Durability of an Industrial Epoxy Vinyl Ester Resin Used for the Fabrication of a Contemporary Art Sculpture.** Elsevier, Polymer Degradation and Stability, 1-8.
- Mistry, B.D. 2009. **A Handbook of Spectroscopic Data Chemistry.** India : Oxford Book Company.
- Oktaviana, T. D. 2002. **Pembuatan dan Analisa Film Bioplastik dari Kitosan Hasil Iradiasi Kitin yang Berasal dari Kulit Kepiting Bakau (*Scylla serata*).** (Skripsi). Jakarta : Universitas Pancasila.
- Peters, S.T. 1998. **Handbooks of Composites.** London : Chapman & Hall.
- Rehan Ahmed. 1996. **RUBBER WASTE Options for Small-scale Resource Recovery.** Netherland : CW Gouda.
- Rety Setyawaty., Keiko Katayama-Hirayama., Hidehiro Kaneko and Kimiaki Hirayama. 2011. **Current Tapioca Starch Wastewater (TSW) Management in Indonesia.** World Applied Sciences Journal 14 May 685-665 ISSN : 1818-4592.
- Rohman Abdul. 2016. **Lipid : Sifat Fisika-Kimia dan Analisisnya.** Yogyakarta : Pustaka Belajar.
- S. Grishchuk., J. Karger-Kocsis. 2011. **Hybrid thermosets from vinyl ester resin and acrylated epoxidized**

- soybean oil (AESO).** eXPRESS Polymer Letters Vol.5, No.1 (2011) 2–11.
- Silverajah V.S.G, Nor Azowa Ibrahim, Norhazlin Zainuddin, Wan Md Zin Wan Yunus, and Hazimah Abu Hassan. 2012. **Mechanical, Thermal and Morphological Properties of Poly(lactic acid)/Epoxidized Palm Olein Blend.** Journal Molecules, 17, 11729-11747.
- Smith, P.S. 1982. **Starch Derivatives and Their Uses in Foods.** Westport Connecticut : AVI Publishing Co.
- Stevens, M.P. (2001). **Kimia Polimer.** Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
- Steven Manolis and Simon Hesp . 2001. **High Temperature Performance of Scrap Tire Rubber Modified Asphalt Concrete.** Ontario : Chemistry University.
- Swinkels, 1985.**Source of Starch, Its Chemistry and Physics.** Di dalam : G.M.A.V. Beynum dan J.A Roels (eds.). **Starch Conversion Technology.** New York : Marcel Dekker, Inc.,
- Vigesh M., Dr. H. G. Hanumantharaju., Mr. Avinash S. 2014. **A Study on Mechanical Properties of Vinylester Based Bio-Composite Material with Starch as a Filler Material.** Journal of Engineering Research and Applications ISSN : 2248-9622.
- Weiss, E.A. 1983. **Oilseed Crops.** USA : Wiley-Blackwell.
- Winarno, F. G. 1992. **Kimia Pangan dan Gizi.** Jakarta : Gramedia Press.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Evianto Rizky Kurniawan, lahir di Surakarta pada tanggal 18 Maret 1995 dari ayah bernama Mulyanto dan ibu bernama Evi Widyastuti. Penulis adalah putra pertama dari 2 bersaudara dan telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri 02, Kelapa Dua Wetan, Jakarta, lalu SMP Negeri 49 Jakarta, lalu SMA Negeri 8 Jakarta. Penulis melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Jurusan Teknik Material dan Metalurgi melalui Jalur Mandiri 2013. Semasa kuliah, penulis

aktif dalam berbagai kegiatan kemahasiswaan dan kepanitiaan di kampus antara lain sebagai *Steering Committee* (SC) Kaderisasi merangkap Staff Pengabdian Masyarakat HMMT FTI ITS periode 2014/2015, serta Koordinator *Steering Committee* (SC) Kaderisasi merangkap Staff Ahli Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa HMMT FTI ITS periode 2015/2016 . Selain itu, penulis pernah menjadi Grader untuk praktikum Teknologi Cor. Penulis juga memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Surya Toto, Tangerang, Banten. Penulis mengambil topik mengenai material inovatif (Polymer) untuk tugas akhir di Departemen Teknik Material FTI-ITS.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran A

Perhitungan Komposisi

Spesimen Uji Kekerasan

1. Vinil Ester Murni

Massa Rancangan : 20 gr

Komposisi (%)

- | | |
|-----------------------|-------|
| 1. Resin Vinil Ester | : 95% |
| 2. Katalis MEKPO | : 4% |
| 3. Akselerator Cobalt | : 1% |

Komposisi Massa (gr)

- | | | |
|-----------------------|--------------|-----------|
| 1. Resin Vinil Ester | : 95% x 20gr | : 19,0 gr |
| 2. Katalis MEKPO | : 4% x 20gr | : 0,8 gr |
| 3. Akselerator Cobalt | : 1% x 20gr | : 0,2 gr |
| Massa Total | | : 20 gr |

Metode :

Waktu Pengadukan : 5 menit

Waktu *Curing* : 1 jam, 18 menit.

Hasil :

Massa Spesimen : 17,34 gr

Dimensi : (44 x 27,8 x 10,6) mm

2. Vinil Ester / Pati Gandum

Massa Rancangan : 20 gr

Komposisi (%)

- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| 1. Pati Gandum | : 10% |
| 2. Resin Vinil Ester | : 95% x 90% Massa Total |
| 3. Katalis MEKPO | : 4% x 90% Massa Total |
| 4. Akselerator Cobalt | : 1% x 90% Massa Total |

Komposisi Massa (gr)

- | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------|
| 1. Pati Gandum | : 10% x 20gr | : 2 gr |
| 2. Resin Vinil Ester | : 95% x (90% x 20 gr) | : 17,1 gr |
| 3. Katalis MEKPO | : 4% x (90% x 20 gr) | : 0,72 gr |
| 4. Akselerator Cobalt | : 1% x (90% x 20 gr) | : 0,18 gr |
| Massa Total | | : 20 gr |

Metode :

Waktu Pengadukan : 5 menit

Waktu *Curing* : 2 jam

Hasil :

Massa Spesimen : 16,23 gr

Dimensi : (44 x 26,8 x 10,2) mm

3. Vinil Ester / Pati Kentang

Massa Rancangan : 20 gr

Komposisi (%)

- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| 1. Pati Kentang | : 10% |
| 2. Resin Vinil Ester | : 95% x 90% Massa Total |
| 3. Katalis MEKPO | : 4% x 90% Massa Total |
| 4. Akselerator Cobalt | : 1% x 90% Massa Total |

Komposisi Massa (gr)

- | | | |
|----------------------|-----------------------|-----------|
| 1. Pati Kentang | : 10% x 20gr | : 2 gr |
| 2. Resin Vinil Ester | : 95% x (90% x 20 gr) | : 17,1 gr |

3. Katalis MEKPO	: 4% x (90% x 20 gr)	: 0,72 gr
4. Akselerator Cobalt	: 1% x (90% x 20 gr)	: 0,18 gr
Massa Total		: 20 gr

Metode :

Waktu Pengadukan : 5 menit

Waktu *Curing* : 2 jam

Hasil :

Massa Spesimen : 17,03 gr

Dimensi : (44 x 28 x 10,9) mm

4. Vinil Ester / Pati Ketan

Massa Rancangan : 20 gr

Komposisi (%)

1. Pati Ketan	: 10%
2. Resin Vinil Ester	: 95% x 90% Massa Total
3. Katalis MEKPO	: 4% x 90% Massa Total
4. Akselerator Cobalt	: 1% x 90% Massa Total

Komposisi Massa (gr)

1. Pati Ketan	: 10% x 20gr	: 2 gr
2. Resin Vinil Ester	: 95% x (90% x 20 gr)	: 17,1 gr
3. Katalis MEKPO	: 4% x (90% x 20 gr)	: 0,72 gr
4. Akselerator Cobalt	: 1% x (90% x 20 gr)	: 0,18 gr
Massa Total		: 20 gr

Metode :

Waktu Pengadukan : 5 menit

Waktu *Curing* : 2 jam

Hasil :

Massa Spesimen : 16,02 gr
Dimensi : (45 x 28,4 x 9,7) mm

5. Vinil Ester / Minyak Jarak

Massa Rancangan : 20 gr

Komposisi (%)

- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| 1. Minyak Jarak | : 10% |
| 2. Resin Vinil Ester | : 95% x 90% Massa Total |
| 3. Katalis MEKPO | : 4% x 90% Massa Total |
| 4. Akselerator Cobalt | : 1% x 90% Massa Total |

Komposisi Massa (gr)

- | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------|
| 1. Minyak Jarak | : 10% x 20gr | : 2 gr |
| 2. Resin Vinil Ester | : 95% x (90% x 20 gr) | : 17,1 gr |
| 3. Katalis MEKPO | : 4% x (90% x 20 gr) | : 0,72 gr |
| 4. Akselerator Cobalt | : 1% x (90% x 20 gr) | : 0,18 gr |
| Massa Total | | : 20 gr |

Metode :

Waktu Pengadukan : 5 menit

Waktu *Curing* : 2 jam

Hasil :

Massa Spesimen : 12,48 gr

Dimensi : (44 x 26,6 x 8) mm

6. Vinil Ester / Minyak Sawit

Massa Rancangan : 20 gr

Komposisi (%)

- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| 1. Minyak Sawit | : 10% |
| 2. Resin Vinil Ester | : 95% x 90% Massa Total |
| 3. Katalis MEKPO | : 4% x 90% Massa Total |
| 4. Akselerator Cobalt | : 1% x 90% Massa Total |

Komposisi Massa (gr)

- | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------|
| 1. Minyak Sawit | : 10% x 20gr | : 2 gr |
| 2. Resin Vinil Ester | : 95% x (90% x 20 gr) | : 17,1 gr |
| 3. Katalis MEKPO | : 4% x (90% x 20 gr) | : 0,72 gr |
| 4. Akselerator Cobalt | : 1% x (90% x 20 gr) | : 0,18 gr |
| Massa Total | | : 20 gr |

Metode :

Waktu Pengadukan : 5 menit

Waktu *Curing* : 2 jam

Hasil :

Massa Spesimen : 14,33 gr

Dimensi : (44,5 x 27 x 10) mm

7. Vinil Ester/ Limbah Serbuk Ban

Massa Rancangan : 20gr

Komposisi (%)

- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| 1. Limbah Serbuk Ban | : 10% |
| 2. Resin Vinil Ester | : 95% x 90% Massa Total |
| 3. Katalis MEKPO | : 4% x 90% Massa Total |
| 4. Akselerator Cobalt | : 1% x 90% Massa Total |

Komposisi Massa (gr)

- | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------|
| 1. Serbuk Ban | : 10% x 20gr | : 2 gr |
| 2. Resin Vinil Ester | : 95% x (90% x 20 gr) | : 17,1 gr |
| 3. Katalis MEKPO | : 4% x (90% x 20 gr) | : 0,72 gr |
| 4. Akselerator Cobalt | : 1% x (90% x 20 gr) | : 0,18 gr |

Massa Total : 20 gr
Metode :
Waktu Pengadukan : 5 menit
Waktu *Curing* : 2 jam
Hasil :
Massa Spesimen : 16.26 gr
Dimensi : (44 x 28 x 12) mm

Spesimen Uji Tarik

1. Vinil Ester Murni

Massa Rancangan : 25 gr

Komposisi (%)

- | | |
|-----------------------|-------|
| 1. Resin Vinil Ester | : 95% |
| 2. Katalis MEKPO | : 4% |
| 3. Akselerator Cobalt | : 1% |

Komposisi Massa (gr)

- | | | |
|-----------------------|---------------|------------|
| 1. Resin Vinil Ester | : 95% x 25 gr | : 23.75 gr |
| 2. Katalis MEKPO | : 4% x 25 gr | : 1 gr |
| 3. Akselerator Cobalt | : 1% x 25 gr | : 0,25 gr |
| Massa Total | | : 25 gr |

Metode :

Waktu Pengadukan : 5 menit

Waktu *Curing* : 2 jam.

Hasil :

Massa Spesimen : 23.15 gr

2. Vinil Ester / Pati Gandum

Massa Rancangan : 25 gr

Komposisi (%)

- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| 1. Pati Gandum | : 10% |
| 2. Resin Vinil Ester | : 95% x 90% Massa Total |
| 3. Katalis MEKPO | : 4% x 90% Massa Total |
| 4. Akselerator Cobalt | : 1% x 90% Massa Total |

Komposisi Massa (gr)

- | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------|
| 1. Pati Gandum | : 10% x 25gr | : 2.5 gr |
| 2. Resin Vinil Ester | : 95% x (90% x 25 gr) | : 21.38gr |
| 3. Katalis MEKPO | : 4% x (90% x 25 gr) | : 0.9 gr |
| 4. Akselerator Cobalt | : 1% x (90% x 25 gr) | : 0,22 gr |
| Massa Total | | : 25 gr |

Metode :

Waktu Pengadukan : 5 menit

Waktu *Curing* : 1 jam

Hasil :

Massa Spesimen : 23.98 gr

3. Vinil Ester / Pati Kentang

Massa Rancangan : 25 gr

Komposisi (%)

- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| 1. Pati Kentang | : 10% |
| 2. Resin Vinil Ester | : 95% x 90% Massa Total |
| 3. Katalis MEKPO | : 4% x 90% Massa Total |
| 4. Akselerator Cobalt | : 1% x 90% Massa Total |

Komposisi Massa (gr)

1. Pati Kentang	: 10% x 25gr	: 2.5 gr
2. Resin Vinil Ester	: 95% x (90% x 25 gr)	: 21.38gr
3. Katalis MEKPO	: 4% x (90% x 25 gr)	: 0.9 gr
4. Akselerator Cobalt	: 1% x (90% x 25 gr)	: 0,22 gr
Massa Total		: 25 gr

Metode :

Waktu Pengadukan : 5 menit

Waktu *Curing* : 2 jam

Hasil :

Massa Spesimen : 24.91 gr

4. Vinil Ester / Pati Ketan

Massa Rancangan : 25 gr

Komposisi (%)

1. Pati Ketan	: 10%
2. Resin Vinil Ester	: 95% x 90% Massa Total
3. Katalis MEKPO	: 4% x 90% Massa Total
4. Akselerator Cobalt	: 1% x 90% Massa Total

Komposisi Massa (gr)

1. Pati Ketan	: 10% x 25gr	: 2.5 gr
2. Resin Vinil Ester	: 95% x (90% x 25 gr)	: 21.38gr
3. Katalis MEKPO	: 4% x (90% x 25 gr)	: 0.9 gr
4. Akselerator Cobalt	: 1% x (90% x 25 gr)	: 0,22 gr
Massa Total		: 25 gr

Metode :

Waktu Pengadukan : 5 menit

Waktu *Curing* : 2 jam

Hasil :

Massa Spesimen : 24.73 gr

5. Vinil Ester / Minyak Jarak

Massa Rancangan : 25 gr

Komposisi (%)

- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| 1. Minyak Jarak | : 10% |
| 2. Resin Vinil Ester | : 95% x 90% Massa Total |
| 3. Katalis MEKPO | : 4% x 90% Massa Total |
| 4. Akselerator Cobalt | : 1% x 90% Massa Total |

Komposisi Massa (gr)

- | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------|
| 1. Minyak Jarak | : 10% x 25gr | : 2.5 gr |
| 2. Resin Vinil Ester | : 95% x (90% x 25 gr) | : 21.38gr |
| 3. Katalis MEKPO | : 4% x (90% x 25 gr) | : 0.9 gr |
| 4. Akselerator Cobalt | : 1% x (90% x 25 gr) | : 0,22 gr |
| Massa Total | | : 25 gr |

Metode :

Waktu Pengadukan : 5 menit

Waktu *Curing* : 2 jam

Hasil :

Massa Spesimen : 21.82 gr

6. Vinil Ester / Minyak Sawit

Massa Rancangan : 25 gr

Komposisi (%)

- | | |
|----------------------|-------------------------|
| 1. Minyak Sawit | : 10% |
| 2. Resin Vinil Ester | : 95% x 90% Massa Total |

- | | |
|-----------------------|------------------------|
| 3. Katalis MEKPO | : 4% x 90% Massa Total |
| 4. Akselerator Cobalt | : 1% x 90% Massa Total |

Komposisi Massa (gr)

- | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------|
| 1. Minyak Sawit | : 10% x 25gr | : 2,5 gr |
| 2. Resin Vinil Ester | : 95% x (90% x 25 gr) | : 21,38gr |
| 3. Katalis MEKPO | : 4% x (90% x 25 gr) | : 0,9 gr |
| 4. Akselerator Cobalt | : 1% x (90% x 25 gr) | : 0,22 gr |
| Massa Total | | : 25 gr |

Metode :

Waktu Pengadukan : 5 menit

Waktu *Curing* : 2 jam

Hasil :

Massa Spesimen : 22,79 gr

7. Vinil Ester / Serbuk Ban

Massa Rancangan : 25 gr

Komposisi (%)

- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| 1. Serbuk Ban | : 10% |
| 2. Resin Vinil Ester | : 95% x 90% Massa Total |
| 3. Katalis MEKPO | : 4% x 90% Massa Total |
| 4. Akselerator Cobalt | : 1% x 90% Massa Total |

Komposisi Massa (gr)

- | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------|
| 1. Serbuk Ban | : 10% x 25gr | : 2,5 gr |
| 2. Resin Vinil Ester | : 95% x (90% x 25 gr) | : 21,38gr |
| 3. Katalis MEKPO | : 4% x (90% x 25 gr) | : 0,9 gr |
| 4. Akselerator Cobalt | : 1% x (90% x 25 gr) | : 0,22 gr |
| Massa Total | | : 25 gr |

Metode :

Waktu Pengadukan : 5 menit
Waktu *Curing* : 2 jam
Hasil :
Massa Spesimen : 22,30 gr

Spesimen Uji Biodegradable

1. Vinil Ester Murni

Massa Rancangan : 9,91 gr

Komposisi (%)

- | | |
|-----------------------|-------|
| 1. Resin Vinil Ester | : 95% |
| 2. Katalis MEKPO | : 4% |
| 3. Akselerator Cobalt | : 1% |

Komposisi Massa (gr)

- | | | |
|-----------------------|-----------------|-----------|
| 1. Resin Vinil Ester | : 95% x 9,91 gr | : 9,42 gr |
| 2. Katalis MEKPO | : 4% x 9,91 gr | : 0,39 gr |
| 3. Akselerator Cobalt | : 1% x 9,91 gr | : 0,10 gr |
| Massa Total | | : 9,91 gr |

Metode :

Waktu Pengadukan : 5 menit
Waktu *Curing* : 2 jam.
Hasil :
Massa Spesimen : 8,5502 gr

2. Vinil Ester / Pati Gandum

Massa Rancangan : 9,91 gr

Komposisi (%)

- | | |
|-----------------------|---------------------------|
| 1. Pati Gandum | : 10% x Massa Total |
| 2. Resin Vinil Ester | : 95% x (90% Massa Total) |
| 3. Katalis MEKPO | : 4% x (90% Massa Total) |
| 4. Akselerator Cobalt | : 1% x (90% Massa Total) |

Komposisi Massa (gr)

- | | | |
|-----------------------|-------------------------|-----------|
| 1. Pati Gandum | : 10% x 9,91 gr | : 0,99 |
| 2. Resin Vinil Ester | : 95% x (90% x 9,91 gr) | : 9,42 gr |
| 3. Katalis MEKPO | : 4% x (90% x 9,91 gr) | : 0,39 gr |
| 4. Akselerator Cobalt | : 1% x (90% x 9,91 gr) | : 0,10 gr |
| Massa Total | | : 9,91 gr |

Metode :

Waktu Pengadukan : 5 menit

Waktu *Curing* : 2 jam.

Hasil :

Massa Spesimen : 8,2150 gr

3. Vinil Ester / Pati Kentang

Massa Rancangan : 9,91 gr

Komposisi (%)

- | | |
|-----------------------|---------------------------|
| 1. Pati Kentang | : 10% x Massa Total |
| 2. Resin Vinil Ester | : 95% x (90% Massa Total) |
| 3. Katalis MEKPO | : 4% x (90% Massa Total) |
| 4. Akselerator Cobalt | : 1% x (90% Massa Total) |

Komposisi Massa (gr)

- | | | |
|-----------------------|-------------------------|-----------|
| 1. Pati Kentang | : 10% x 9,91 gr | : 0,99 |
| 2. Resin Vinil Ester | : 95% x (90% x 9,91 gr) | : 9,42 gr |
| 3. Katalis MEKPO | : 4% x (90% x 9,91 gr) | : 0,39 gr |
| 4. Akselerator Cobalt | : 1% x (90% x 9,91 gr) | : 0,10 gr |
| Massa Total | | : 9,91 gr |

Metode :

Waktu Pengadukan : 5 menit

Waktu *Curing* : 2 jam.

Hasil :

Massa Spesimen : 8,5108 gr

4. Vinil Ester / Pati Ketan

Massa Rancangan : 9,91 gr

Komposisi (%)

- | | |
|-----------------------|---------------------------|
| 1. Pati Ketan | : 10% x Massa Total |
| 2. Resin Vinil Ester | : 95% x (90% Massa Total) |
| 3. Katalis MEKPO | : 4% x (90% Massa Total) |
| 4. Akselerator Cobalt | : 1% x (90% Massa Total) |

Komposisi Massa (gr)

- | | | |
|-----------------------|-------------------------|-----------|
| 1. Pati Ketan | : 10% x 9,91 gr | : 0,99 |
| 2. Resin Vinil Ester | : 95% x (90% x 9,91 gr) | : 9,42 gr |
| 3. Katalis MEKPO | : 4% x (90% x 9,91 gr) | : 0,39 gr |
| 4. Akselerator Cobalt | : 1% x (90% x 9,91 gr) | : 0,10 gr |
| Massa Total | | : 9,91 gr |

Metode :

Waktu Pengadukan : 5 menit

Waktu *Curing* : 2 jam.

Hasil :

Massa Spesimen : 8,2809 gr

5. Vinil Ester / Minyak Jarak

Massa Rancangan : 9,91 gr

Komposisi (%)

- | | |
|-----------------------|---------------------------|
| 1. Minyak Jarak | : 10% x Massa Total |
| 2. Resin Vinil Ester | : 95% x (90% Massa Total) |
| 3. Katalis MEKPO | : 4% x (90% Massa Total) |
| 4. Akselerator Cobalt | : 1% x (90% Massa Total) |

Komposisi Massa (gr)

- | | | |
|-----------------------|-------------------------|-----------|
| 1. Minyak Jarak | : 10% x 9,91 gr | : 0,99 |
| 2. Resin Vinil Ester | : 95% x (90% x 9,91 gr) | : 9,42 gr |
| 3. Katalis MEKPO | : 4% x (90% x 9,91 gr) | : 0,39 gr |
| 4. Akselerator Cobalt | : 1% x (90% x 9,91 gr) | : 0,10 gr |
| Massa Total | | : 9,91 gr |

Metode :

Waktu Pengadukan : 5 menit

Waktu *Curing* : 2 jam.

Hasil :

Massa Spesimen : 7,4774 gr

6. Vinil Ester / Minyak Sawit

Massa Rancangan : 9,91 gr

Komposisi (%)

- | | |
|-----------------------|---------------------------|
| 1. Minyak Sawit | : 10% x Massa Total |
| 2. Resin Vinil Ester | : 95% x (90% Massa Total) |
| 3. Katalis MEKPO | : 4% x (90% Massa Total) |
| 4. Akselerator Cobalt | : 1% x (90% Massa Total) |

Komposisi Massa (gr)

1. Minyak Sawit	: 10% x 9,91 gr	: 0,99
2. Resin Vinil Ester	: 95% x (90% x 9,91 gr)	: 9,42 gr
3. Katalis MEKPO	: 4% x (90% x 9,91 gr)	: 0,39 gr
4. Akselerator Cobalt	: 1% x (90% x 9,91 gr)	: 0,10 gr
Massa Total		: 9,91 gr

Metode :

Waktu Pengadukan : 5 menit

Waktu *Curing* : 2 jam.

Hasil :

Massa Spesimen : 7,4212 gr

7. Vinil Ester / Serbuk Ban

Massa Rancangan : 9,91 gr

Komposisi (%)

1. Serbuk Ban	: 10% x Massa Total
2. Resin Vinil Ester	: 95% x (90% Massa Total)
3. Katalis MEKPO	: 4% x (90% Massa Total)
4. Akselerator Cobalt	: 1% x (90% Massa Total)

Komposisi Massa (gr)

1. Serbuk Ban	: 10% x 9,91 gr	: 0,99
2. Resin Vinil Ester	: 95% x (90% x 9,91 gr)	: 9,42 gr
3. Katalis MEKPO	: 4% x (90% x 9,91 gr)	: 0,39 gr
4. Akselerator Cobalt	: 1% x (90% x 9,91 gr)	: 0,10 gr
Massa Total		: 9,91 gr

Metode :

Waktu Pengadukan : 5 menit

Waktu *Curing* : 2 jam.

Hasil :

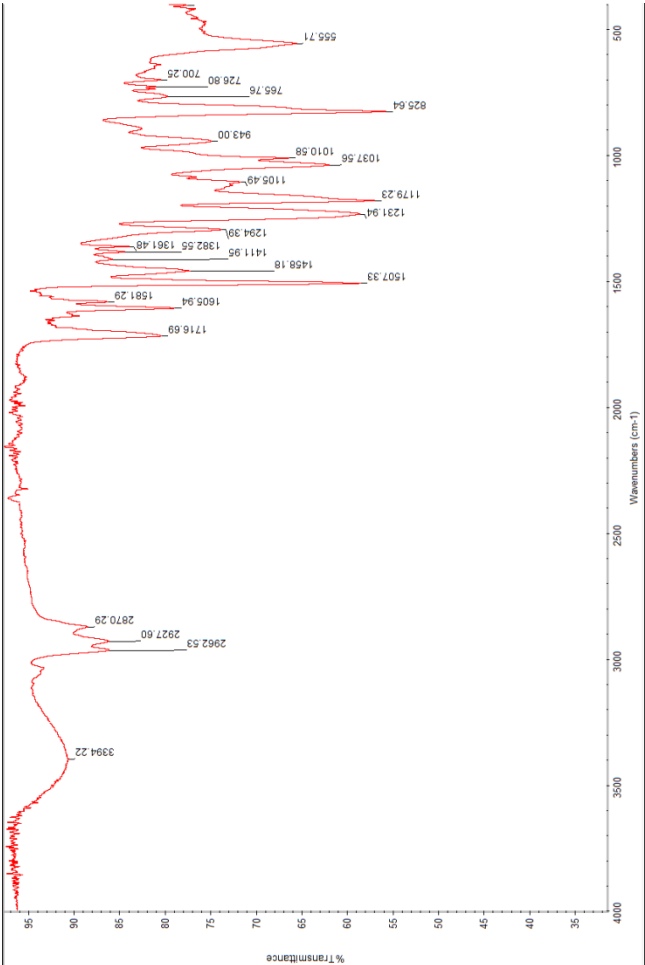
Massa Spesimen : 8,9400 gr

Lampiran B

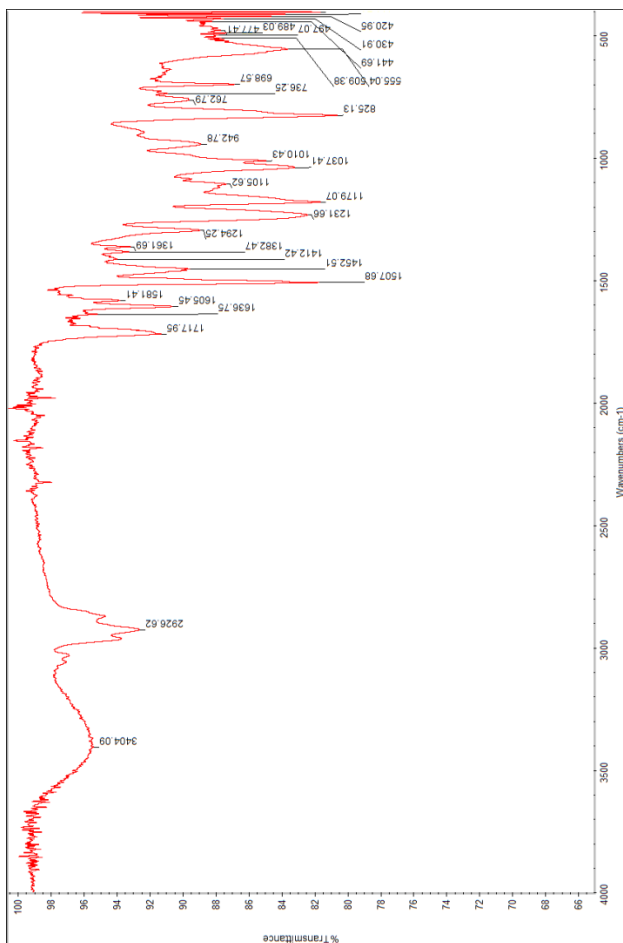
Pengujian

1. FTIR

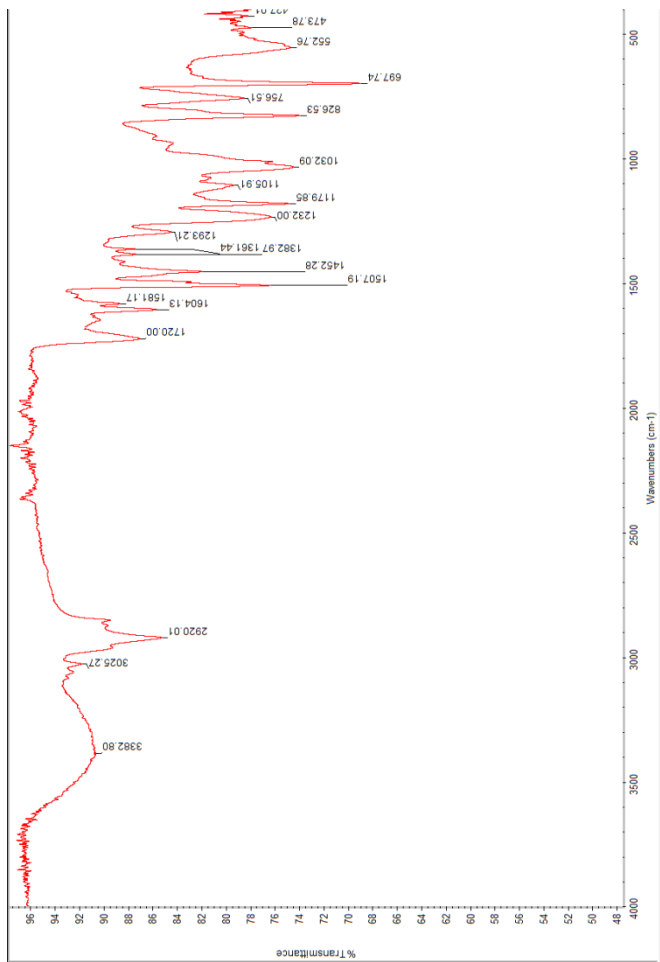
1. Vinil Ester Murni



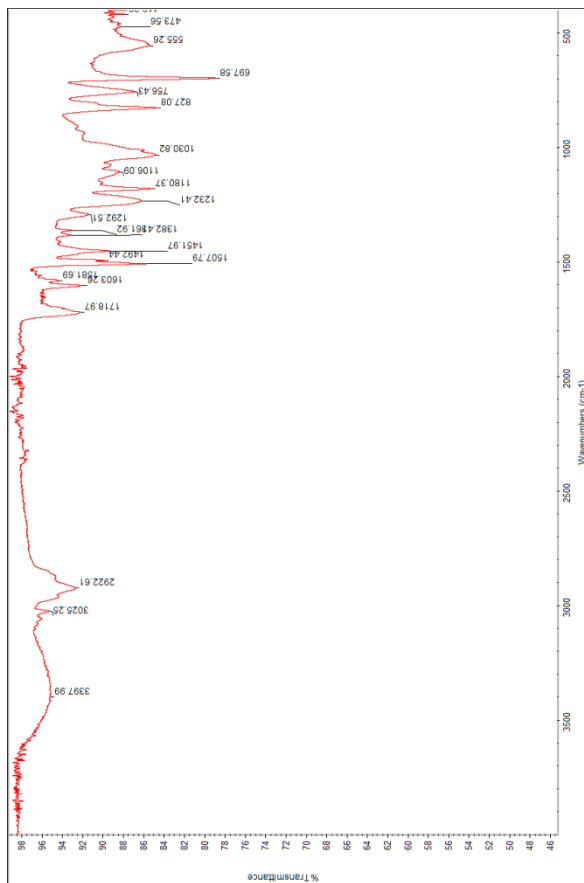
2. Vinil Ester / Pati Gandum



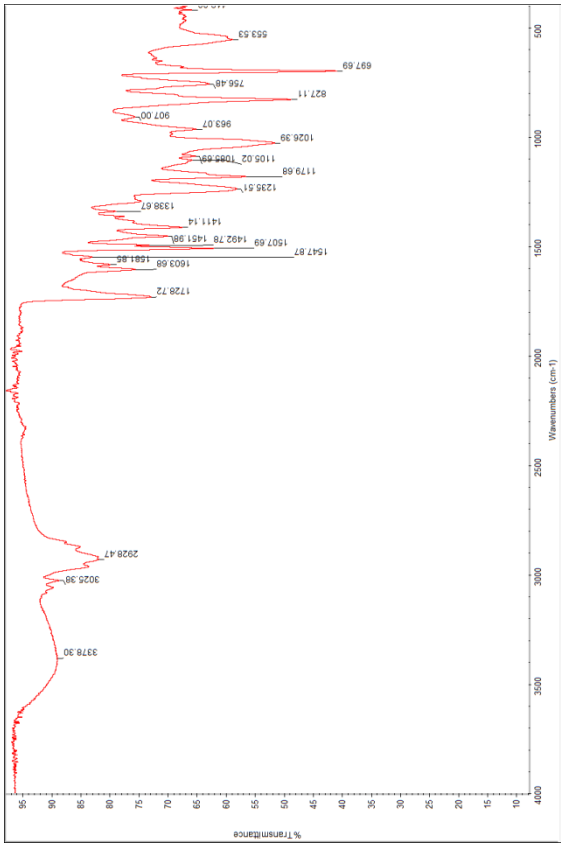
3. Vinil Ester / Pati Kentang



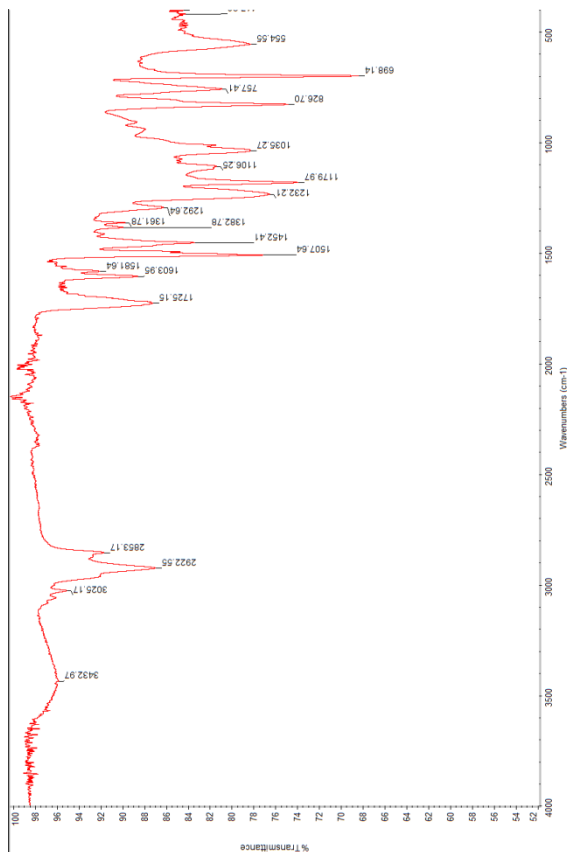
4. Vinil Ester / Pati Ketan



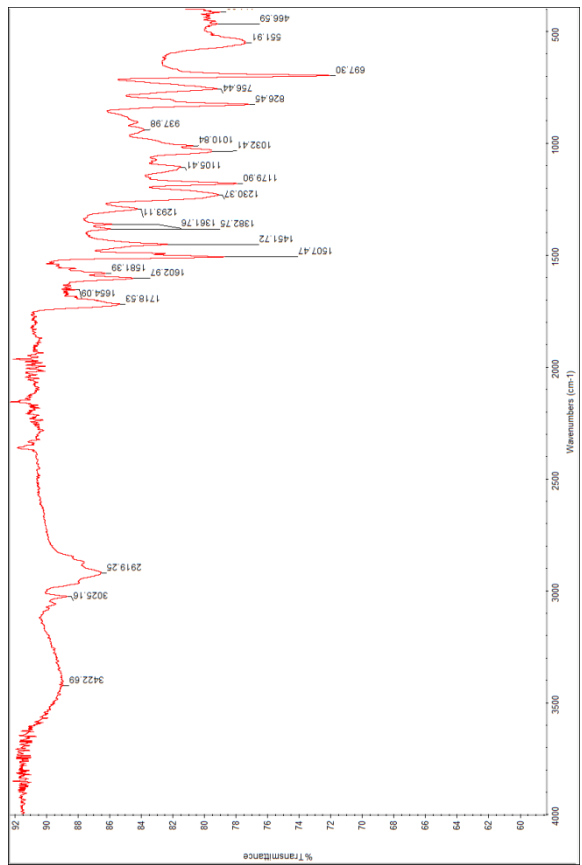
5. Vinil Ester / Minyak Jarak



6. Vinil Ester / Minyak Sawit

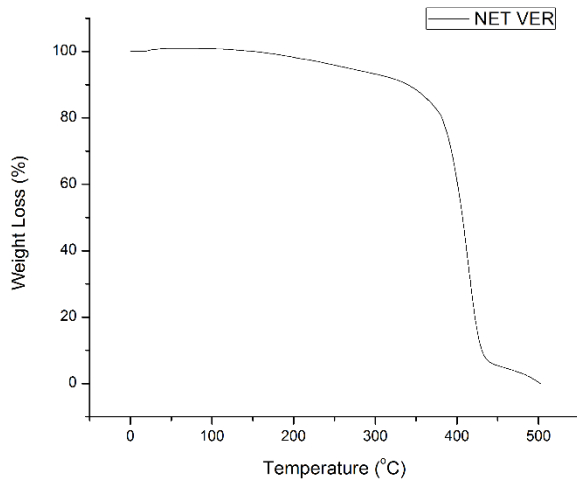


7. Vinil Ester / Serbuk Ban

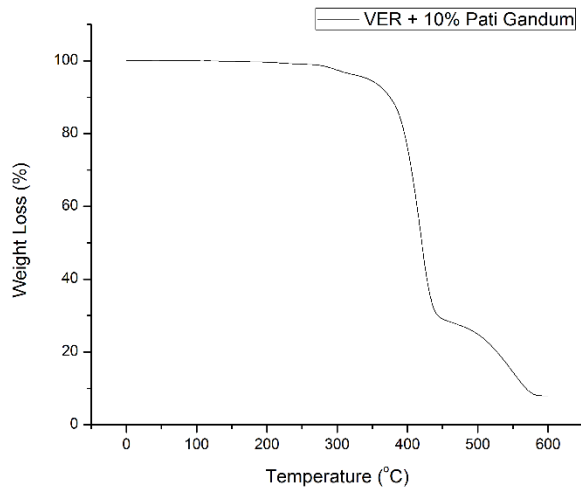


2. TGA

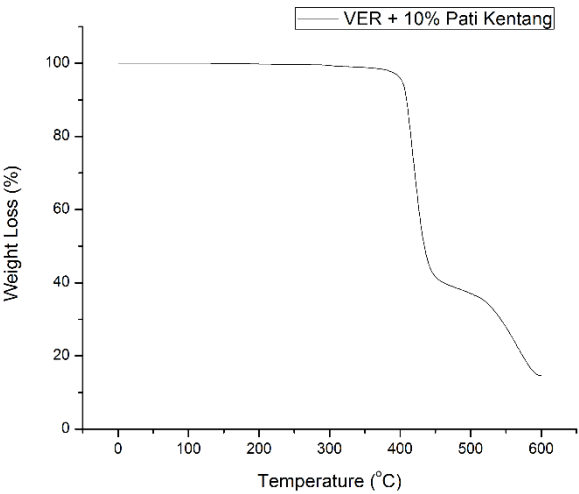
1. Vinil Ester Murni



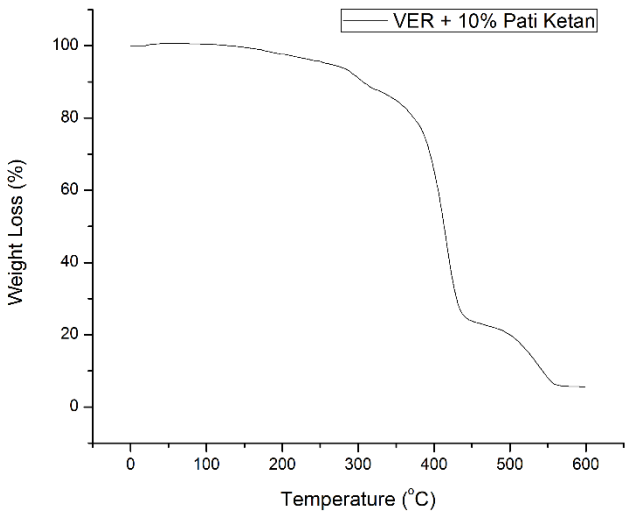
2. Vinil Ester / Pati Gandum



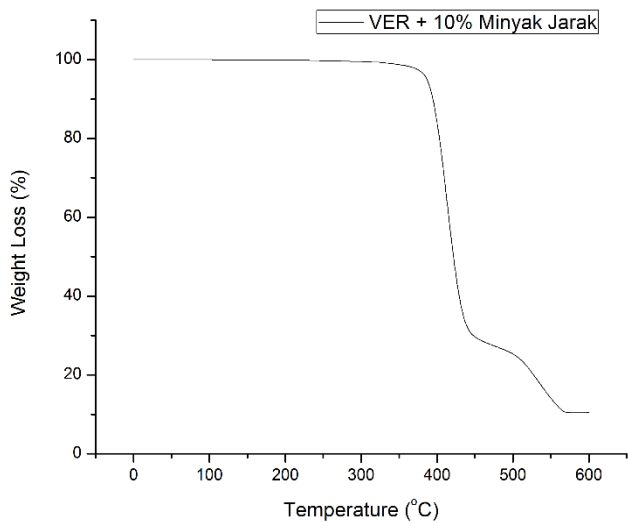
3. Vinil Ester / Pati Kentang



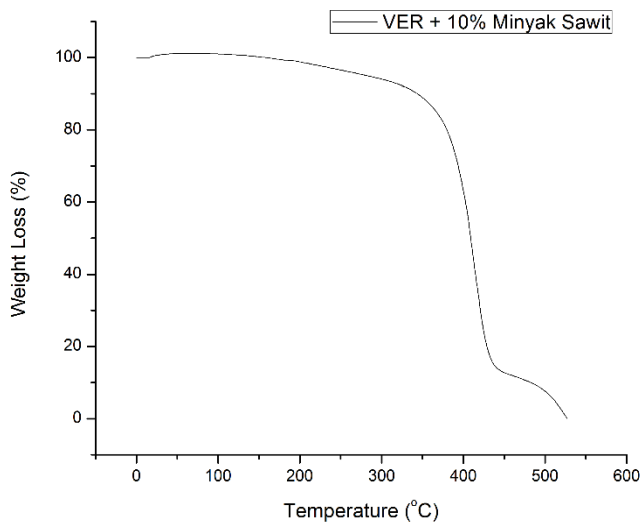
4. Vinil Ester / Pati Ketan



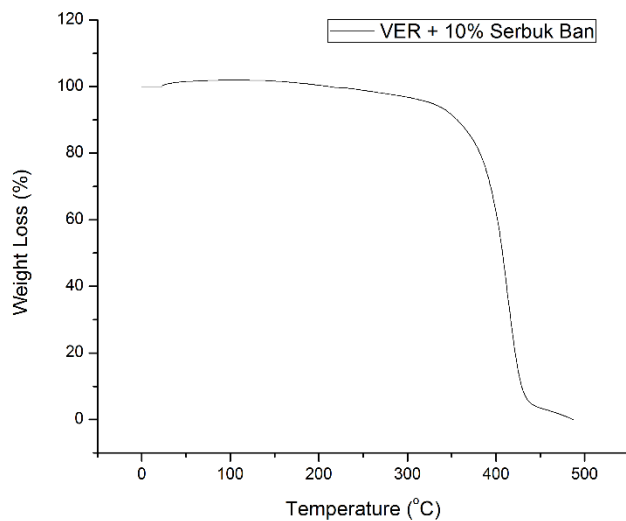
5. Vinil Ester / Minyak Jarak




6. Vinil Ester / Minyak Sawit





7. Vinil Ester / Serbuk Ban



3. Uji Tarik

	KEMENTERIAN Perindustrian REPUBLIK INDONESIA	BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI BALAI RISET DAN STANDARDISASI INDUSTRI SURABAYA LABORATORIUM PENGUJIAN DAN KALIBRASI BARISTAND INDUSTRI SURABAYA Jl. Jagir Wonokromo No. 360 Surabaya (60244), Telp. (031) 8410054, Fax. (031) 8410480 http://baristandsurabaya.kemendperin.go.id/
<hr/>		
LAPORAN PENGUJIAN <i>Test Report</i> No. 3549-3555/17/LHU/3/VI/2017		
NO. ANALISA <i>Analisa No.</i>	:	P. 3549 – P. 3555
KOMODITI <i>Commodity</i>	:	Komposit
DIBUAT UNTUK <i>Executed For</i>	:	EVIANTO RIZKY KURNIA
ALAMAT <i>Address</i>	:	Kejawen Putih Tambak Gg 24 No. 1 Mulyorejo, Surabaya – Jawa Timur
DITERIMA TANGGAL <i>Received Date</i>	:	20 Juni 2017
URAIAN SAMPEL <i>Detail of Sample</i>	:	Telah diterima 7 (tujuh) buah sample komposit dengan data sebagai berikut : a. Bentuk : Benda Uji b. Keadaan luar : Baik c. Kode : Net2, A2, B2, C2, D2, E2, F2 Sampel tersebut diatas telah dilakukan pengujian sesuai dengan permintaan
TANGGAL PENGUJIAN <i>Tested Date</i>	:	3 Juli 2017
METODE UJI <i>Test Method</i>	:	Sesuai permintaan
METODE PENGAMBILAN CONTOH <i>Sampling Method</i>	:	-
HASIL PENGUJIAN <i>Test Result</i>	:	Terlampir
DITERBITKAN TANGGAL <i>Issued Date</i>	:	05 Juli 2017



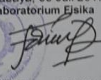
Kepala Seksi
Standardisasi dan Sertifikasi

Indra Wahyu Diantoro, ST, MT
NIP. 197810162006041001

Nomor Analisa : P. 3549 – P. 3555
Jenis Sampel : Komposit
Kode : Net 2, A2, B2, C2, D2, E2, F2

Parameter Uji	Satuan	P. 3549 Net 2	P. 3550 A2	P. 3551 B2	P. 3552 D2	P. 3553 C2	P. 3554 E2	P. 3555 F2
Tebal	mm	5.70	6.06	5.85	6.13	6.94	6.95	6.40
Lebar	mm	12.28	13.31	13.45	13.71	12.50	15.56	13.23
Panjang Ukur	mm	51.31	51.58	51.20	51.23	50.96	50.91	51.84
Panjang Putus	mm	51.76	52.05	51.60	51.65	51.35	51.39	52.35
Beban Maksimum	Kgf	374.6	237.2	298.0	311.2	184.8	273.3	194.4
Kuat Tarik	N/mm ²	52.46	28.83	37.16	36.28	20.89	30.69	22.55
Regang	%	0.88	0.91	0.78	0.82	0.77	0.94	0.98

Catatan :

- Parameter di uji sesuai Permintaan

Surabaya, 05 Juli 2017
Laboratorium Fisika

Fany Aditama, ST, MT.
NIP. 197801102002121005